

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **10-039239**

(43)Date of publication of application : **13.02.1998**

(51)Int.CI. **G02B 26/08**

G02B 26/02

(21)Application number : **08-206471**

(71)Applicant : **RICOH CO LTD**

(22)Date of filing : **18.07.1996**

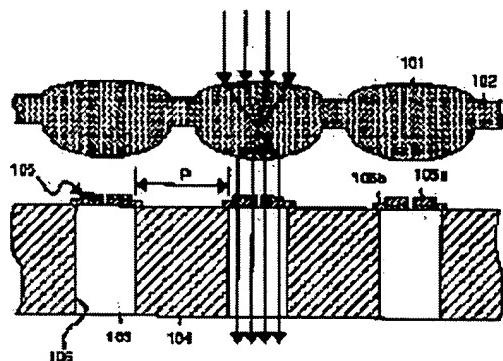
(72)Inventor : **TAKAHASHI JUNICHI**

(54) SPATIAL LIGHT MODULATION ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to set the driving circuit, etc., of a shutter on a substrate without degrading the numerical aperture by providing the element with the shutter for controlling the passage and non-passage of the light which is made incident on through-holes and is condensed by a lens.

SOLUTION: The paralleled light is made incident on the microscopes 101 from a light source side and the incident light is made into parallel beams reduced in spot diameter by the microlenses 101. The apertures of the through-holes 103 of a substrate 104 are irradiate with these beams. The beams are so controlled as to pass or not pass the through-holes 103 by opening and closing the light shielding plates 105a of the shutter 105 of a flap type. In the close state, the shutter 105 is held closed and the apertures of the through-holes 103 of the substrate 104 are held closed by two sheets of the light shielding plates 105a to prohibit the beams from passing the through-holes 103. In the open state, electrostatic



attraction force acts between the light shielding plates 105a and the walls 106 of the through-holes 103 when a potential difference is applied between both by a power source, by which the light shielding plates 105a are attracted to the walls 106 of the through-holes 103 and the beams are passed through the through-holes 103.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-39239

(43)公開日 平成10年(1998)2月13日

(51)Int.Cl.⁶
G 0 2 B 26/08
26/02

識別記号 庁内整理番号

F I
G 0 2 B 26/08
26/02

技術表示箇所
B
B

審査請求 未請求 請求項の数16 FD (全 35 頁)

(21)出願番号 特願平8-206471

(22)出願日 平成8年(1996)7月18日

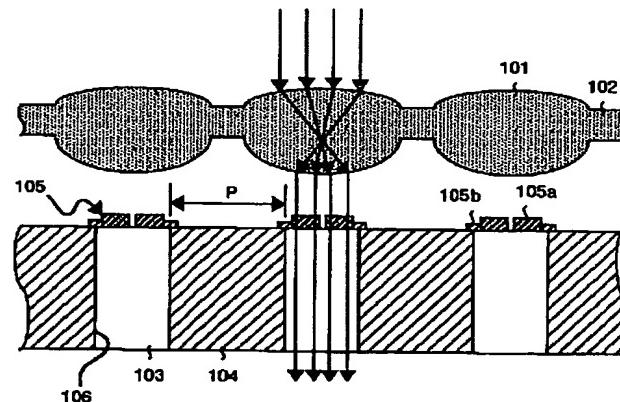
(71)出願人 000006747
株式会社リコー
東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(72)発明者 高橋 淳一
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
会社リコー内

(54)【発明の名称】 空間光変調素子

(57)【要約】

【課題】 実質的な開口率を低下することなく、基板上にシャッタの駆動回路等を設けることを可能とする。

【解決手段】 本発明の空間光変調素子は、光を集光するマイクロレンズ101と、マイクロレンズ101で集光された光が入射され、光を通過させる貫通孔103を備えた基板104と、基板104に設けられ、貫通孔103に入射された光の通過・非通過を制御するシャッタ105とを備えている。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光を集光するレンズと、前記レンズで集光された光が入射され、前記光を通過させる貫通孔を備えた基板と、前記基板に設けられ、前記貫通孔に入射された前記光の通過・非通過を制御するシャッタと、を備えることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項2】 請求項1記載の空間光変調素子において、前記基板が、前記光を透過する透光性基板と、前記透光性基板上に形成され、前記光を透過しない非透光性基板とからなり、前記非透光性基板が、前記貫通孔と前記シャッタとを備えることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項3】 請求項1又は2記載の空間光変調素子において、前記貫通孔内部の壁面が、前記基板表面に対し傾斜していることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項4】 請求項3記載の空間光変調素子において、前記シャッタが、前記貫通孔の開口部に設けられて前記光を遮光する遮光部材と、前記貫通孔内部の壁面方向に前記遮光板を旋回可能に支持する支持部材と、からなり、前記シャッタと前記貫通孔内部の壁との間に電圧を印加して前記シャッタを開くことを特徴とする空間光変調素子。

【請求項5】 請求項1から4のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記シャッタを備えた基板が、単結晶基板であり、前記貫通孔が、結晶軸異方性エッチングにより前記単結晶基板中に形成されることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項6】 請求項5記載の空間光変調素子において、前記単結晶基板が、(110)面の面方位を持つ單結晶シリコンからなり、前記シャッタが、前記貫通孔の開口部の前記単結晶基板の<110>軸に平行な辺に設けられることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項7】 請求項6記載の空間光変調素子において、前記貫通孔が、前記単結晶基板内にハニカム状に配列されることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項8】 請求項1から7のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記レンズを複数有したレンズ基板を備え、前記レンズ基板と前記シャッタが形成された板との間の空間を封止して真空又はほぼ真空とし、当該空間内に前記シャッタを位置させることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項9】 請求項8記載の空間光変調素子において、前記レンズ基板上の空間を封止し、当該空間の気圧を大気圧より低くしかつ前記真空又はほぼ真空とした空間の気圧より高くすることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項10】 請求項1から9のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記レンズ基板が、前記シャッタ側の面に透光性導電層を備え、前記透光性導電層と前記貫通孔内部の壁と前記シャッタとにそれぞれ所定の電

2

圧を印加して前記シャッタを開閉させることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項11】 請求項10記載の空間光変調素子において、前記シャッタが設けられた基板が、前記シャッタを駆動する駆動回路を備え、前記透光性導電層と前記駆動回路とを電気的に接続すると共に、前記透光性導電層に前記駆動回路の基準電圧又は電源電圧を印加することを特徴とする空間光変調素子。

【請求項12】 請求項1又は請求項3から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記基板が、前記シャッタが設けられた面の反対側の面に低抵抗層を備えることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項13】 請求項1又は請求項3から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記基板が、前記シャッタが設けられた面の反対側の面に遮光層を備えることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項14】 請求項2から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記透光性基板が、前記非透光性基板に接触する面上に透光性導電層を備えることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項15】 請求項2から14のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記透光性基板と前記非透光性基板の間に低抵抗層を設けることを特徴とする空間光変調素子。

【請求項16】 請求項2から14のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記透光性基板と前記非透光性基板の間に遮光層を設けることを特徴とする空間光変調素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、マイクロメカニカルシャッタアレイやマイクロガルバノミラーアレイを用いた投影表示素子としての空間光変調素子に関し、より詳細には、光記憶・記録、光論理演算、即ち光情報処理用画像の形成、画像処理、画像論理演算、光コンピューティング用のデータパターンの形成に応用可能な空間光変調素子に関する。

【0002】

【従来の技術】図61及び図62に基づいて、第1の従来例(特開平4-230721号公報)を説明する。この空間光変調素子は、多数のマイクロシャッタ1701により構成されている。マイクロシャッタ1701は、移動電極1702と、マイクロシャッタ1701を固定端に接続するビーム1703とを備えている。移動電極1702は、A1やpoly-Si等可視領域の光を殆ど透過しない材料で作製される。また、マイクロシャッタ1701は接地される。

【0003】図62において、電極1705に電圧が印加されている場合、マイクロシャッタ1701は基板150704に対して水平方向に位置し、入射する光を遮断す

3

る。電極1706に電圧が印加された場合、マイクロシャッタ1701は基板1704に対して斜めの姿勢に、電極1707に電圧が印加されたときには基板1704に対して垂直になり入射光が空間光変調素子を通過する。

【0004】このようなマイクロシャッタ1701をアレイ状に持つ空間光変調素子を透過した光は、レンズ（図示せず）によりスクリーン（図示せず）上で結像される。上述したようにマイクロシャッタ1701の開閉を制御することにより、スクリーン上に画像等を表示することができる。なお、第1の従来例の空間光変調素子では、開口率を高くするため基板1704のほとんどの面積が開口1708で占められている。また開口1708の壁1708aは基板1704に対して垂直になっており、したがって、フラップ型のシャッタを閉から開に移行させる場合、90度回転させる必要がある。

【0005】第1の従来例の空間光変調素子を用いてフルカラー表示が可能なディスプレイを実現する場合、図61に示すように、R, G, Bの透過フィルタ1709をを持つ3個のマイクロシャッタ1701を一組として1ピクセルを構成する。そして、各マイクロシャッタ1701が開いて透過状態になっている時間を変化させることにより、フルカラー表示を可能とする。

【0006】次に、第2の従来例 (E. Obermeier, J. Lin, V. Slichting, "Design and Fabrication of an electrostatically driven micro-shutter", Technical Digest of The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, pp132-135, 1996) を図63に示す。この第2の従来例の装置も上述した第1の従来例とほぼ同様の構成であり、マイクロシャッタ1701、マイクロシャッタ1701を支持するビーム1703及びマイクロシャッタ1701を開閉させる移動電極1702を備えている。また、フルカラー表示が可能なディスプレイを構成する場合も、第1の従来例で説明したようにR, G, Bの透過フィルタを持つ3個のシャッタを一組として1ピクセルを構成すれば良い。

【0007】更に、第3の従来例（「液晶方式投写型ディスプレイのカラー・フィルタを不要に」、日経エレクトロニクス、1995.1.30）を説明する。第3の従来例は投写型ディスプレイに関し、その基本構成を図64に示すと共に、図64における液晶パネル部分の大構成図を図65に示す。この投射型ディスプレイにおいて、光源1710からの光はダイクロイックミラー1711により三原色光に分解される。分解された光は、異なる方向から液晶パネル1712に照射される。液晶

50

パネル1712は、図65に示すように3つの液晶シャッタ1713毎に1つのマイクロレンズ1714を持つ。したがって、液晶シャッタ1713を通過した光は、図64に示すフレネルレンズ1715と投射レンズ1716によりスクリーン1717上で集光され、スクリーン上に画像等がフルカラー表示される。マイクロレンズ1714は三原色各々についてレンズに入射した光を液晶シャッタ1713上に集光するため、実効的な開口率が低下しない。なお、図65において、1718はガラス基板である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、第1及び第2の従来例では、開口率を高めるためにシャッタが設けられている基板のほとんどの面積が開口、即ち穴になっており、マイクロシャッタを駆動する回路や配線を基板上に配置する面積が不足するという問題がある。このため、マイクロシャッタを備える基板以外にシャッタを制御する制御電極を備えた基板を別個設ける必要がある。このように制御電極用の基板を別個設ける場合は、精度良く位置合わせを精度良く行って両基板の接合或いは相互位置関係を定めるする作業が必要となる。したがって、空間光変調素子の製造工程が複雑になると共に、精度良く位置合わせができない場合は空間光変調素子の誤動作の原因となる。

【0009】また、マイクロシャッタの周辺の隙間にも光が当たるため、マイクロシャッタが閉じられている場合であってもこの隙間から光が漏れ、空間光変調素子を介してスクリーン上に投影される画像のコントラストが低下するという問題がある。

【0010】更に、開口率を高めるために開口面積を大きくしていることから、この開口を開・閉するシャッタの移動距離を大きくする必要があるという問題がある。従来例のマイクロシャッタは、構造が簡単であること等の理由から静電引力を用いて開閉させられる。ところが、静電引力の強さは距離の2乗に反比例するため、シャッタの移動距離を大きくすると静電引力が弱くなり、静電引力を発生させるための駆動電圧を大きくしなければならない。

【0011】本発明は上記に鑑みてなされたものであつて、シャッタが設けられている基板の実質的な開口率を低下することなく前記基板上にシャッタの駆動回路等を設けることを可能とし、より簡単な工程で製造可能とすることを第1の目的とする。

【0012】また、誤動作を少なくすると共に、コントラストの高い像をスクリーン上に結ぶことを可能とすることを第2の目的とする。

【0013】更に、実質的な開口率を低下することなくシャッタの移動距離を小さくし、静電引力によるシャッタの開閉動作をより容易に行うことを可能とすることを第2の目的とする。

【0014】

【課題が解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の請求項1に係る空間光変調素子は、光を集めするレンズと、前記レンズで集光された光が入射され、前記光を通過させる貫通孔を備えた基板と、前記基板に設けられ、前記貫通孔に入射された前記光の通過・非通過を制御するシャッタと、を備えるものである。

【0015】また、本発明の請求項2に係る空間光変調素子は、請求項1記載の空間光変調素子において、前記基板が、前記光を透過する透光性基板と、前記透光性基板上に形成され、前記光を透過しない非透光性基板とかなり、前記非透光性基板が、前記貫通孔と前記シャッタとを備えるものである。

【0016】また、本発明の請求項3に係る空間光変調素子は、請求項1又は2記載の空間光変調素子において、前記貫通孔内部の壁面が、前記基板表面に対して傾斜しているものである。

【0017】また、本発明の請求項4に係る空間光変調素子は、請求項3記載の空間光変調素子において、前記シャッタが、前記貫通孔の開口部に設けられて前記光を遮光する遮光部材と、前記貫通孔内部の壁面方向に前記遮光板を旋回可能に支持する支持部材と、からなり、前記シャッタと前記貫通孔内部の壁との間に電圧を印加して前記シャッタを開くものである。

【0018】また、本発明の請求項5に係る空間光変調素子は、請求項1から4のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記シャッタを備えた基板が、単結晶基板であり、前記貫通孔が、結晶軸異方性エッチングにより前記単結晶基板中に形成されるものである。

【0019】また、本発明の請求項6に係る空間光変調素子は、請求項5記載の空間光変調素子において、前記単結晶基板が、(110)面の面方位を持つ単結晶シリコンからなり、前記シャッタが、前記貫通孔の開口部の前記単結晶基板の<110>軸に平行な辺に設けられるものである。

【0020】また、本発明の請求項7に係る空間光変調素子は、請求項6記載の空間光変調素子において、前記貫通孔が、前記単結晶基板内にハニカム状に配列されるものである。

【0021】また、本発明の請求項8に係る空間光変調素子は、請求項1から7のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記レンズを複数有したレンズ基板を備え、前記レンズ基板と前記シャッタが形成された基板との間の空間を封止して真空又はほぼ真空とし、当該空間内に前記シャッタを位置させるものである。

【0022】また、本発明の請求項9に係る空間光変調素子は、請求項8記載の空間光変調素子において、前記レンズ基板上の空間を封止し、当該空間の気圧を大気圧より低くしつつ前記真空又はほぼ真空とした空間の気圧より高くするものである。

【0023】また、本発明の請求項10に係る空間光変調素子は、請求項1から9のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記レンズ基板が、前記シャッタ側の面に透光性導電層を備え、前記透光性導電層と前記貫通孔内部の壁と前記シャッタとにそれぞれ所定の電圧を印加して前記シャッタを開閉せるものである。

【0024】また、本発明の請求項11に係る空間光変調素子は、請求項10記載の空間光変調素子において、前記シャッタが設けられた基板が、前記シャッタを駆動する駆動回路を備え、前記透光性導電層と前記駆動回路とを電気的に接続すると共に、前記透光性導電層に前記駆動回路の基準電圧又は電源電圧を印加するものである。

【0025】また、本発明の請求項12に係る空間光変調素子は、請求項1又は請求項3から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記基板が、前記シャッタが設けられた面の反対側の面に低抵抗層を備えるものである。

【0026】また、本発明の請求項13に係る空間光変調素子は、請求項1又は請求項3から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記基板が、前記シャッタが設けられた面の反対側の面に遮光層を備えるものである。

【0027】また、本発明の請求項14に係る空間光変調素子は、請求項2から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記透光性基板が、前記非透光性基板に接触する面上に透光性導電層を備えるものである。

【0028】また、本発明の請求項15に係る空間光変調素子は、請求項2から14のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記透光性基板と前記非透光性基板の間に低抵抗層を設けるものである。

【0029】更に、本発明の請求項16に係る空間光変調素子は、請求項2から14のいずれかに記載の空間光変調素子において、前記透光性基板と前記非透光性基板の間に遮光層を設けるものである。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る空間光変調素子の実施の形態を図面を参照しつつ詳細に説明する。

【0031】[実施の形態1] 実施の形態1に係る空間光変調素子は、シャッタを備えた基板中にシャッタを駆動する駆動回路を設けることを可能にし、静電引力によるシャッタの開閉を容易に行うことができる様にしたものである。すなわち、実施の形態1に係る空間光変調素子は、光を集めするレンズと、レンズで集光された光が入射され、光を通過させる貫通孔を備えた基板と、基板に設けられ、貫通孔に入射された光の通過・非通過を制御するシャッタと、を備えるものである。以下、この空間光変調素子の構成を(第1実施例)及び(第2実施例)に基づいて詳細に説明する。

50 【0032】(第1実施例) 図1は、実施の形態1の第

1実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図1に示す空間光変調素子は、光源(図示せず)からの光を集光するマイクロレンズ101を含むマイクロレンズ基板102と、マイクロレンズ101で集光された光を通過させる貫通孔103を備えた基板104と、貫通孔103を通過する光の通過・非通過を制御するフラップ型のシャッタ105と、を備えている。

【0033】基板104には、Si, Ge, Cなどの半導体、或いはGa, As, In, P, Alなどから構成される化合物半導体(GaAs, GaP, GaInAs, P, InP等)、或いはZn, Te, S, Se, Cdなどから構成される化合物半導体(ZnSe, CdS, CdTe等)等を用いることができる。また基板104として、石英、ホウケイ酸ガラス(例えばコーニング社の7740, 7070)、低融点ガラス、ソーダガラス等を用いた透光性基板を用いても良い。

【0034】図2～図4は、図1に示すフラップ型のシャッタ105の構成を示しており、図2は平面図、図3は図2の線A-A'における断面図、図4は図2の線B-B'における断面図である。シャッタ105は、2枚の遮光板105aと、2枚の遮光板105aをそれぞれ支持するトーションバー105bとかなり、トーションバー105bは基板104表面に固定される。

【0035】次に、上記構成を備えた第1実施例に係る空間光変調素子の動作を説明する。

【0036】図1に示すように、光源側から平行光化された光がマイクロレンズ101に入射される。入射された光はマイクロレンズ101によりスポット径が小さくされた平行光になり、基板104の貫通孔103の開口部に照射される。貫通孔103の開口部に照射された光は、フラップ型のシャッタ105の遮光板105aを開閉させることにより、貫通孔103を通過させ又は通過させないよう制御することができる。

【0037】すなわち、図3(a)に示すシャッタ105を閉じた状態においては、2枚の遮光板105aにより基板104の貫通孔103の開口部が光学的に塞がれ、光は貫通孔103を通過しない(閉状態)。一方、遮光板105aと貫通孔103の壁106の間に図示しない電源により電位差を与えると両者間に静電引力が働き、図3(b)に示すように遮光板105aが貫通孔103の壁106に吸着する(開状態)。開状態では光が貫通孔103を通過する。電圧印加をなくすと、トーションバー105bのバネ力により遮光板105aは図3(a)に示す閉状態に戻る。

【0038】シャッタ105への入射光のスポット径は、マイクロレンズ101によってシャッタ105の周期より小さくされるため、実施の形態1の空間光変調素子においては従来の空間光変調素子よりも貫通孔103の開口面積を小さくすることができる。したがって、隣接する他のシャッタ105との間隔P(図1参照)を大

きくとることができる。その結果、隣接するシャッタ105間の領域にシャッタ105を駆動する回路を配置することができる。これにより、基板104とは別の基板を設け、この基板にシャッタ105の駆動回路を設ける必要がないため、空間光変調素子の構成及び製造行程を簡素化することができる。

【0039】図5に示すように、実施の形態1の空間光変調素子においては遮光板105aのみに光が照射される。したがって、シャッタ105の閉状態で光が漏れるのは遮光板105aの隙間の一部からだけである。一方、従来の空間光変調素子では、図6に示すように遮光板と開口部の隙間全体に光が照射されることになる。したがって、開口部の隙間全体から光が漏れることになる。このように実施の形態1の空間光変調素子の方がシャッタ105が閉状態での漏れ光が少ないため、従来の空間光変調素子よりも空間光変調素子を介してスクリーンに投影された画像等のコントラストを向上させることができる。

【0040】(第2実施例)図7は実施の形態1の第2実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図、図8は図7に示す空間光変調素子の平面図であり、図9は図7に示す空間光変調素子のシャッタの開閉状態を説明するための説明図である。

【0041】図8に示す空間光変調素子のシャッタ105は、トーションバーに代え、基板104表面で遮光板105aを水平に移動させるビーム105cを備えたライド型シャッタである。遮光板105aと固定電極107には櫛歯状の電極が形成されている。遮光板105aは、アンカー108及び配線109を介して電源110に接続され、同様に固定電極107も電源110に接続されている。

【0042】遮光板105aと固定電極107間に電圧を印加すると、両者間に静電引力が働き、遮光板105aは固定電極107方向に移動する(図9(b))。これによりシャッタ105は開状態になる。この電圧印加をやめるとビーム105cのバネの戻り力により遮光板105aは閉状態に戻る(図9(a))。

【0043】図7～図9に示す第2実施例の空間光変調素子においても、第1実施例のトーションバー105bを用いたシャッタ105の場合と同様な効果を得ることができる。加えて、前述したように基板104の貫通孔103の幅が従来技術より小さいため、シャッタ105に要求される移動距離を小さくすることができるという効果がある。

【0044】図10は、実施の形態1に係る空間光変調素子の応用例を示す説明図である。図10に示す空間光変調素子は、RGBの三原色の光についてそれぞれ通過・非通過を制御する3枚のシャッタ105を一組備えている。これにより、異なる角度からRGBの三原色に分離した光をマイクロレンズ101を介して貫通孔103

の開口部に照射すると、それぞれの光に対応するシャッタ105により、R・G・Bそれぞれの色の光の通過・非通過を制御することができる。よって、図10に示す空間光変調素子を用いることにより、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0045】[実施の形態2]前述した実施の形態1に係る空間光変調素子において、シャッタ105が設けられる基板104には、機械的剛性を保つために少なくとも $200\mu\text{m}$ 程度の厚みを持たせることが必要である。また、一つの空間光変調素子の面積を小さくし、一枚のシリコンウェハから得られる空間光変調素子の枚数を多くするためには、シャッタ105のピッチ、即ち画素密度を高くしなければならない。例えば30ミリ角の空間光変調素子とするには、ピッチを $40\mu\text{m}$ 程度にしなければならない。つまり貫通孔103の2次元的寸法(窓の縦と横)に対して貫通孔103の深さが5倍以上の深穴の形状になってしまう。

【0046】一方、基板104に上に設けられるマイクロレンズ101によって入射する光を平行光にして貫通孔103に入射する場合、レンズの性能などから空間光変調素子に入射する光は完全な平行光ではなく、わずかな放射角度を持っている。したがって、この角度を持って入射した光が前述したような深穴の貫通孔103に導入されると、光の一部は図11に示すように貫通孔103の壁106に当たることになる。貫通孔103の壁106は鏡面ではないため、壁106に当たった光はランダムな方向に散乱される。散乱された光は、ほとんどが基板104の下方に設けられた投射レンズ(図示せず)に入射されないため、スクリーン上に結像されず、輝度が低下する原因となる。このことを解決するための手段として、シャッタ105を設ける基板104の厚さを數 μm 以下にすることが考えられるが、この場合は基板104の剛性が非常に弱く、容易に破壊される虞がある。

【0047】そこで、実施の形態2に係る空間光変調素子は、実施の形態1の空間光変調素子の機械的剛性を低下することなく、空間光変調素子を介してスクリーン上に結像される画像の輝度・画質の向上を図ったものである。

【0048】図12は、本発明の実施の形態2に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。なお、図12に示す空間光変調素子において、図1に示す実施の形態1の空間光変調素子と同一の構成には同一の符号を付し、その説明は省略する。

【0049】図12に示す空間光変調素子は、基板104が、透光性基板であるガラス基板201と、ガラス基板201上に形成された非透光性基板であるシリコン基板202とからなり、シャッタ105が、シリコン基板202上に設けられて構成されている。

【0050】シリコン基板202には、シャッタ105

やこれを駆動する回路が設けられ、その厚みはガラス基板201よりも薄く形成されている。具体的に厚みは數十 μm 以下が好ましいがこれに限定するものではない。

【0051】なお、非透光性基板としてシリコン基板202を挙げたが、シリコンに限らず、Ge、Cなどの半導体、或いはGa、As、In、P、Alなどから構成される化合物半導体(GaAs, GaP, GaInAsP, InP等)、或いはZn, Te, S, Se, Cdなどから構成される化合物半導体(ZnSe, CdS, CdTe等)等を用いてもよい。

【0052】ガラス基板201は、薄く機械的強度の弱いシリコン基板202を支持する必要があるため、その厚みは数百 μm 以上が好ましいがこれに限定するものではない。また、ガラス基板としては、石英、ホウケイ酸ガラス(例えはコーニング(社)の7740, 7070), 低融点ガラス、ソーダガラス等の材料を用いることができる。

【0053】次に、上記構成を有する空間光変調素子の製造方法の概略を説明する。図13(a)～(d)は、実施の形態2に係る空間光変調素子の製造過程を説明するための説明図である。

【0054】まず、図13(a)において、p型半導体基板203上にシリコン基板202となるn型半導体層204をエピタキシャル成長により形成する。続いてn型半導体層204中にCMOSプロセスによりシャッタ105を駆動する回路部205を形成する。その後、n型半導体層204上に酸化膜(又は窒化膜)206を形成後、酸化膜206上にアルミ等の金属層207を形成する。そして金属層207及び酸化膜206をパターニングする。なお、金属層207はシャッタ105と配線パターンになり、酸化膜206は配線の絶縁と異方性エッチングにより貫通孔103を形成するための開口窓となる。

【0055】次に、図13(b)において、パターニングされた金属層207及び酸化膜206上に補強板208を仮止めし、p型半導体基板203を電気化学エッチングによりエッチングする。エッチングは、周辺のp型半導体基板203を残しpn接合面で停止する。エッチング後には薄いn型半導体層204が残る。

【0056】図13(c)において、上述したガラス基板201となるガラス基板209が陽極接合や、紫外線硬化型接着剤、熱硬化型の接着剤、嫌気性の接着剤等を用いて接合される。続いて補強板208が取り除かれる。

【0057】図13(d)において、n型半導体層204をウェットエッチングによりエッチングして貫通孔103を形成する。これにより、ガラス基板201、貫通孔103及びシャッタ105を備えたシリコン基板202が形成される。

【0058】このように、実施の形態2に係る空間光変

調素子によれば、シリコン基板202の厚みを薄くしたため、入射した光がシリコン基板202の貫通孔103の壁106に当たることを防止することができる。また、貫通孔103を通過した光は、可視光に対して高い透過率を持つガラス基板201に入射されるため、ここでも透過光が散乱されることはない。したがって、散乱された光が投射レンズに入射せず輝度が低下するということを防ぐことができる。

【0059】また、本実施の形態2に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を貫通孔103に入射することにより、各シャッタ105でそれぞれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0060】更に、実施の形態2に空間光変調素子では、実施の形態1で説明したフラップ型のシャッタに限らず、図7～図9に示すスライド型のシャッタを用いることができることはいうまでもない。

【0061】【実施の形態3】実施の形態1で説明した空間光変調素子においては、基板104上に設けられたマイクロレンズ101により入射光をレンズ直徑よりも小さく絞り、貫通孔103に入射する。貫通孔103に入射される光は、平行光又は特定の位置でビームウェストを持つようになる。一般に平行光の場合はその光のスポット（平行光の幅）は数十 μm 以下にはならない。したがって貫通孔103の幅は、光のスポット以上でなければならない。例えば、貫通孔103のピッチが50 μm で空間光変調素子の一辺の画素数が2000だとすると、空間光変調素子の一辺は $50\mu\text{m} \times 2000 = 100\text{mm}$ となり非常に大きいものとなってしまう。この場合、一枚のシリコンウェハから得られる空間光変調素子は数個程度となってしまい、結果的にコストの向上を招く。

【0062】一方、ビームウェストを持つ光（マイクロレンズにより集光された光）はビームウェストの位置でのスポット径が数 μm 程度の幅になる。したがって、このような光を用いれば開口ピッチを10 μm 程度に小さくし、もって空間光変調素子の大きさを20ミリ程度にすることができる。すなわち一枚のシリコンウェハから得られる空間光変調素子の数が増え、コストを低下することができる。

【0063】ところが、ビームウェストを持つ光を導入すると、光が貫通孔103の壁106に当たってしまう（いわゆるケラレ）。貫通孔103の壁106は鏡面ではないため、これに当たった光はランダムな方向に散乱される。散乱された光は、ほとんどが投射レンズに入射せず、スクリーン上に結像されない。したがって、輝度が低下する原因となる（図11参照）。

【0064】そこで、実施の形態3の空間光変調素子は、空間光変調素子の大きさを小さくすると共に、空間光変調素子を介してスクリーン上に結像された画像等の輝度が低下することないようにしたものである。すなわち、実施の形態3に係る空間光変調素子は、実施の形態1及び2の空間光変調素子において、貫通孔内部の壁面を基板表面に対して傾斜させたものである。以下、この空間光変調素子の構成を（第1実施例）～（第4実施例）に基づいて詳細に説明する。

【0065】（第1実施例）図14は、実施の形態3の第1実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。なお、図14に示す空間光変調素子において、図1に示す実施の形態1の空間光変調素子と同一の構成には同一の符号を付し、その説明は省略する。

【0066】図14に示す空間光変調素子は、実施の形態1で説明した空間光変調素子において、基板104表面に対して貫通孔103の壁301を傾斜させたものである。

【0067】図14に示す空間光変調素子においては、マイクロレンズ101により光源からの光が集光される。貫通孔103の壁301の傾斜角度は、集光された光の角度に合わせたものである。したがって、貫通孔103の壁301によって光がけられることなく、貫通孔103に入射された光は全て投射レンズ302に入射される。また、光をマイクロレンズ101で集光することにより光のスポット径を数 μm 程度に小さくすることができるため、シャッタ105の間隔を狭くすることができる。すなわち空間光変調素子の大きさを小さくすることができ、その製造コストを低減することができる。

【0068】（第2実施例）図15は、実施の形態3の第2実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図15に示す空間光変調素子は、実施の形態2で説明した空間光変調素子において、シリコン基板202表面に対して貫通孔103の壁301を傾斜させたものである。

【0069】このように貫通孔103の壁301を傾斜させることにより、第1実施例で説明したものと同様の効果を得ることができる。また、第2実施例の空間光変調素子においては、壁301に傾斜がない場合に比べ、シリコン基板202とガラス基板201とが接する面積を大きくすることができるため、シリコン基板202とガラス基板201との接合強度を高めることができる。

【0070】（第3実施例）図16は、実施の形態3の第3実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図16に示す空間光変調素子は、基板104をマイクロレンズ基板102に接合し、集光点を基板104とマイクロレンズ基板102の界面に合わせたものである。したがって、基板104の貫通孔103に入射された光が、貫通孔103の壁301によってけられることを防止することができる。

【0071】(第4実施例) 図17は、実施の形態3の第4実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図17に示す空間光変調素子は、基板104をマイクロレンズ基板102に接合し、集光点を基板104表面に合わせると共に、貫通孔103の壁301の傾斜を上記第3実施例の場合と反対にしたものである。したがって、基板104の貫通孔103に入射された光が、貫通孔103の壁301によってけられることを防止することができる。

【0072】なお、傾斜した壁301を有する貫通孔103は、フォトレジストをマスキングフィルムとして用い、エッティングガスに酸素を混合したドライエッティングにより形成することができる。また、マスキングフィルムを後退させながらエッティングを行うウェットエッティングであっても貫通孔103の壁面に傾斜を持たせることができる。

【0073】また、実施の形態3に係る空間光変調素子についても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、異なる角度からRGBの三原色に分解した光を各貫通孔103に入射することにより、RGBのそれぞれの光の通過・非通過を制御をすることができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0074】更に、実施の形態3に係る空間光変調素子においては、実施の形態1で説明したラップ型のシャッタとスライド型のシャッタの両者を適用することができる。

【0075】[実施の形態4] 前述した第1及び第2の従来例の空間光変調素子では静電引力によりシャッタを駆動する。静電引力を用いる理由は、必要とされる電極などの構造が簡単であること及びミクロンメータのオーダにおけるエネルギー密度が高いためである。ところが、静電引力の強さは距離の2乗に反比例するため、固定電極とシャッタとが遠距離に配置されている場合は得られる静電引力が弱く、高い駆動電圧を印加しないと充分なシャッタ105の移動を生じさせることができない。一方、第1及び第2の従来例ではシャッタを開いたときの開口率を高める、即ち空間光変調素子を介してスクリーン上に結像された画像等の輝度を高めるため、ラップ型のシャッタを90度に回転させる必要がある。したがって30V程度以下の駆動電圧とするためには、トーションバーの長さが150μm以上の大きなシャッタにしなければならない。このシャッタを用いた空間光変調素子をビデオ画像の表示に用いる場合、空間光変調素子の一辺が300mm以上の大きなものとなってしまう。

【0076】そこで、実施の形態4の空間光変調素子は、開口率を下げるのことなく、かつラップ型のシャッタの駆動電圧を高くすることなく、シャッタの小型化を

図ったものである。

【0077】図18～図20は、実施の形態4に係る空間光変調素子の構成を示す構成図であり、図18は平面図、図19は図18(a)の線C-C'における断面図、図20は図18(a)の線D-D'における断面図である。なお、実施の形態4において、前述した実施の形態1～3の空間光変調素子と同一の構成については同一の符号を付し、その詳細な説明は省略する。

【0078】図18～図20に示す空間光変調素子は、実施の形態1で説明したラップ型のシャッタ105を備え、かつ貫通孔103の内部の壁401は基板104に対して傾斜が付けられており、シャッタ105の遮光板105aは貫通孔103の開口部の一辺に設けられたトーションバー105bにより基板104表面に接続されている。

【0079】このような構成を備える空間光変調素子において、貫通孔103内部の壁401と遮光板105aとの間に電源402により駆動電圧が印加される。貫通孔103内部の壁401と遮光板105aとの間に電圧が印加されると、両者間に静電引力が働き、遮光板105aは壁401に吸着されてシャッタ105が閉状態となる。

【0080】従来の空間光変調素子においては、シャッタが閉のときのシャッタと貫通孔内部の壁との間の角度は90度であった。実施の形態4の空間光変調素子の場合、貫通孔103内部の壁401は所定の角度で傾斜して形成されている。ここで、壁401の傾斜角が45度であるとする。壁401の傾斜角度が90度であるものと45度であるものとに対して同じ駆動電圧を印加した場合、45度のものの方は90度のものに比べて約4倍の静電引力を得ることができる。その結果、トーションバー105bのねじれのバネ定数を4倍にすることができる。すなわち、トーションバー105bの断面形状が等しいとき、その長さを1/4にすることができる。よって、シャッタ105を小型化でき、もって空間光変調素子の大きさを小さくでき、その製造コストを低減することができる。

【0081】なお、図18～図20には図示していないが、マイクロレンズやガラス基板と組み合わせて本実施の形態4に係る空間光変調素子を図14～図16(実施の形態3)に示す空間光変調素子と同様に構成することができる。

【0082】また、実施の形態4の空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0083】[実施の形態5] 実施の形態4で説明した傾斜した壁を持つ貫通孔を単結晶シリコンに形成する方法としてはフッ素、硝酸、水、エチルアルコールの混合液をエッチャントとして用いてシリコンをエッチングしたり、レジストをエッチングのマスキングフィルムとしてSF₆、CCl₄、酸素を混合したガスによりRIE(Reactive Ion Etching)によりシリコンをエッチングするという方法がある。ところが、これらの方法はエッチングスピードが遅く、かつこれらの方法によって形成された貫通孔103は形状の精度に問題がある。このため、シャッタ105の誤動作や加工コストの増大等の問題が生じる。

【0084】そこで、実施の形態5の空間光変調素子 *

番号	単結晶基板	結晶軸異方性エッチャント
①	シリコン(Si)	KOH
②	シリコン(Si)	NaOH
③	シリコン(Si)	EDP
④	シリコン(Si)	(Ethylene diamine Pyrocathechol (water)) ヒドラジンまたはヒドラジン一水和物
⑤	シリコン(Si)	TMAH (Tetramethyl Ammonium Hydroxide, (CH ₃) ₄ NOH)
⑥	シリコン(Si)	CCl ₄ +O ₂ (ドライエッ칭)
⑦	GaAs	H ₂ SO ₄ , H ₃ PO ₄ +H ₂ O
⑧	α水晶	フッ化水素酸水溶液(HF)
⑨	α水晶	重フッ化アンモニウム饱和水溶液(NH ₄ HF ₂)

(表1は、基板とエッチングを行う液(エッチャント)の組み合わせを示している。)

【0087】単結晶シリコンの異方性エッチングを利用して空間光変調素子を形成した例を図21～図23に示す。図21～図23は、実施の形態5に係る空間光変調素子の構成を示す構成図であり、図21は平面図、図22は図21の線E-E'における断面図、図23は図22の線F-F'における断面図である。図21～図23に示す空間光変調素子では、基板104として単結晶シリコン基板を用い、この単結晶シリコン基板は(100)面の面方位を持ち、(110)軸に平行な貫通孔103の辺にトーションバー105bが接続されている。

【0088】表1に示すようなエッチャントにより単結晶基板をエッチングすることにより、形状の精度が高く、高いエッチングスピードにより傾斜した内壁501を有する貫通孔103を形成することができ、誤動作の少ない低コストな空間光変調素子を得ることができる。

【0089】なお、実施の形態5の空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0090】[実施の形態6] 図24～図26に示す実施の形態4の空間光変調素子において、シャッタ105の遮光板105aを回転させる静電引力を強めるために

*は、高いエッチングスピードで形成でき、かつ形状の精度が高い貫通孔を備えたものである。

【0085】実施の形態5の空間光変調素子においては、基板104としてシリコン等の単結晶基板を用い、基板104に形成される貫通孔103、特に傾斜のついた壁501を有する貫通孔103を基板104の結晶面の方位によりエッチングレートが異なるエッチング液を用いて形成する。例えば、表1に示す①から⑨のエッチャントにより単結晶シリコンをエッチングした場合、その(100)面のエッチレートは(110)面のそれの少なくとも15倍、多い場合は600倍程度である。

【0086】

【表1】

は、遮光板105aの回転中心となる軸に平行な貫通孔103の壁601が傾斜していれば十分である。したがって、遮光板105aの回転軸に直交する貫通孔103の壁602の傾斜は不要であり、これが存在すると隣接する貫通孔103との間隔が大きくなり、空間光変調素子の大きさが大きくなる。よってコストが高くなるという問題がある。

【0091】そこで、実施の形態6の空間光変調素子は、素子全体の小型化を図ったものである。

【0092】図27～図29は実施の形態6に係る空間光変調素子の構成を示す構成図であり、図27は平面図、図28は図27の線I-I'における断面図、図29は図27の線J-J'における断面図である。なお、実施の形態6の空間光変調素子において、実施の形態1～5で説明した空間光変調素子と同一の構成には同一の符号を付し、その説明は省略する。

【0093】実施の形態6に係る空間光変調素子においては、基板104として単結晶シリコン基板を用いている。単結晶シリコン基板104は、(110)面の面方位を持ち、(110)軸に平行にトーションバー105bが設けられ、このトーションバー105bに遮光板105aが接続されている。

【0094】実施の形態6に係る空間光変調素子においては、シャッタ105の遮光板105aと貫通孔103の壁603は35.26度の角度を持って相対している。したがって、(100)面の面方位の単結晶シリコンを使った場合の傾斜角度(54.74度)よりも角度が小さいため、同じ電圧を印加した場合、静電引力が2

から2.5倍程度大きくなる。よって、より低い電圧((100)面の場合の0.6倍程度)によりシャッタ105を駆動することができる。

【0095】また、〈1バー12〉軸と〈1バー1バー2〉軸に平行な辺の貫通孔103の壁604は基板104表面に対して直角になる。したがって、図30に示すようにシャッタ105をアレイ状に並べると、図31に示す(100)面を用いた場合よりもシャッタ105の間隔を狭くすることができる。よって、シャッタ105の密度を上げることができるため、空間光変調素子の寸法を小さくすることができ、コストを低減することができる。

【0096】なお、実施の形態6の空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0097】[実施の形態7] 図1に示す実施の形態1の空間光変調素子においては、シャッタ105が設けられている基板104上にマイクロレンズ基板102を設ける。このように空間光変調素子を構成する場合、シャッタ105とマイクロレンズ101を2次元的にアレイ状に配置する。マイクロレンズ101周辺で生じる回折等の問題から、マイクロレンズ101は円形である方がその性能が高い。一方、開口率を高めるには、マイクロレンズ101を配置するマイクロレンズ基板102の面積に対し、マイクロレンズ101が占める面積の割合を高くする必要がある。このためには円形のマイクロレンズ101をガラス基板上にハニカム状に配置、即ち最密充填することによりこの割合を最大にすることができる。したがって、マイクロレンズ101の配置に合わせてシャッタ105もハニカム状に配置する必要がある。また、貫通孔103についても、ハニカム状に配置したときの貫通孔103同士の間隔が小さくなるように高い密度で基板104中に配置する方が空間光変調素子の寸法を小さくすることができる。このようにマイクロレンズ101やシャッタ105等を配置することにより、空間光変調素子の大きさが同じなら、シャッタ105の大きさを大きくでき、マイクロレンズ101やシャッタ105に対して要求される性能を低く設定することができる。

【0098】そこで、実施の形態7では、ハニカム状に空間光変調素子を配置した場合の構成を説明する。なお、実施の形態7の空間光変調素子において、実施の形態1~6で説明した空間光変調素子と同一の構成には同一の符号を付し、その説明は省略する。

【0099】マイクロレンズ101は、一般的に基板1

04上面から見て円形である。ところで、マイクロレンズ101を基板104面上に最も密度を高くして配置することにより、より多くの光をシャッタ105上に集光することができる。円形のマイクロレンズ101を最密度充填するためには図32に示すようにハニカム状に並べなければならない。加えて、図32に示すマイクロレンズ101の配置に合わせてシャッタ105も基板104上に並べる必要がある。

【0100】ところが、例えば図33に示すように単結晶シリコン基板の(100)面を使用したシャッタ105をハニカム状に並べた場合、シャッタ105の下方の貫通孔103の形状がが長方形であるため、貫通孔103の角がデッドスペースとなる。一方、図34に示すように単結晶シリコン基板の(110)面を使用したシャッタ105をハニカム状に並べると、貫通孔103の形状が6角形であるためにデッドスペースが減り、(100)面の場合よりも高密度に充填することができる。よって、空間光変調素子をより小さく構成することができ、コストを低減することができる。また、(100)面の場合と同じ密度で(110)面のシャッタ105を配置した場合、一つのシャッタ105の大きさを大きくすることができるため、マイクロレンズ101で絞り込む光のスポット径を大きくすることができ、マイクロレンズ101の設計に余裕を持たせることができる。

【0101】なお、実施の形態7の空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる(図35)。

【0102】[実施の形態8] 上述した実施の形態1から7の空間光変調素子において、シャッタ105の大きさはせいぜい数十μm程度である。したがって、シャッタ105の質量は非常に小さいため、空気の粘性により動作速度や応答が遅くなる。また、空気中の酸素や水分によるシャッタ105の腐食をなくすため、通常は空間光変調素子全体を封止用の窓材を用いて封止し、真空あるいはアルゴン、ヘリウム、窒素等の不活性ガスを非常に低い圧力で充填する。ところが、封止用の窓材を空間光変調素子の外に囲むように設けると、窓材による光の反射・散乱などにより空間光変調素子の光学的性能が低下することになる。

【0103】そこで、実施の形態8に係る空間光変調素子は、シャッタの動作速度や応答の低下及び腐食等が起きないようにし、かつ光学的性能が低下しないようにしたものである。

【0104】実施の形態8に係る空間光変調素子は、マイクロレンズ基板とシャッタが形成された基板との間の

空間を封止して真空又はほぼ真空とし、当該空間内にシャッタを位置させるものである。以下に、このような構成を備えた空間光変調素子を、(第1実施例)、(第2実施例)及び(第3実施例)の順で詳細に説明する。なお、実施の形態8の空間光変調素子において、実施の形態1~7で説明した空間光変調素子と同一の構成には同一の符号を付し、その説明は省略する。

【0105】(第1実施例)図36は、実施の形態8に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。ガラス基板201上にあるシリコン基板202は、マイクロレンズ基板102とソルダーガラス801により封止されている。マイクロレンズ基板102とガラス基板201間にリードフレーム802が挿入されていてポンディングワイヤ803とともにシリコン基板202上の回路(図示せず)と外部とを電気的に接続している。

【0106】シリコン基板202が封止されている領域(封止領域)804は、真空或いは非常に希薄な不活性ガス(窒素、アルゴン、ヘリウム等)が充填された状態になっている。このような状態においてはシャッタ105の運動に対して気体の粘性による抵抗が働くないため、機密封止しない場合(実施の形態8の構成を用いない場合)に比べて、シャッタ105の動作速度を向上させることができると共に、大気中のゴミや湿度による素子劣化の問題も解消することができる。

【0107】更に、第1実施例の空間光変調素子では、空間光変調素子として最低限必要なマイクロレンズ基板102及びガラス基板201とソルダーガラス801により封止が行われている。すなわち、窓材を別途設けていないため、窓材による光の反射や回折、散乱などが生じない。したがって、これらを原因とする投射画像の劣化を防止することができる。

【0108】(第2実施例)図37は、実施の形態8に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。第2実施例の空間光変調素子では、マイクロレンズ101のN.A.(numerical aperture: 開口数)を大きくした。したがって、マイクロレンズ基板102とシリコン基板202間の距離を小さく、しかも精度良く保つ必要がある。

【0109】マイクロレンズ基板102とシリコン基板202間には、機密を保つためのシール材と両者間の距離を一定に保つためのスペーサを兼ねたシール兼スペーサ805が設けられている。そして、シリコン基板202表面の一部とマイクロレンズ基板102とシール材兼スペーサ805により、封止領域804が構成されている。また、ポンディングワイヤ803とシリコン基板202の封止領域804外の領域は、封止材806により保護されている。

【0110】第2実施例においても第1実施例と同様に、封止領域804は真空或いは非常に希薄な不活性ガ

ス(窒素、アルゴン、ヘリウムなど)が充填された状態になっている。このような状態においては、シャッタ105の運動に対して気体の粘性による抵抗が働くないため、機密封止しない場合(実施の形態8の構成を用いない場合)に比べて、シャッタ105の動作速度を向上させることができると共に、大気中のゴミや湿度による素子劣化の問題も解消することができる。

【0111】更に、第2実施例の空間光変調素子では、空間光変調素子として最低限必要なマイクロレンズ基板102及びガラス基板201とシール兼スペーサ805とにより封止が行われている。すなわち、窓材を別途設けていないため、窓材による光の反射や回折、散乱などが生じない。したがって、これらを原因とする投射画像の劣化を防止することができる。

【0112】(第3実施例)図38は、実施の形態8に係る空間光変調素子の第3実施例の構成を示す構成図である。第3実施例の空間光変調素子は、第1実施例の空間光変調素子のマイクロレンズ基板102の平坦な面を外側にして構成されたものであり、第1実施例の空間光変調素子と同様の効果を得ることができる。また、マイクロレンズ基板102の平坦な面を外側にすることは第2実施例にも適用することができる。更に、第3実施例に係る空間光変調素子は、両面にマイクロレンズ101の凹凸が形成されているマイクロレンズ基板102にも適用することができる。

【0113】なお、第1及び第3実施例の空間光変調素子に用いられているソルダーガラス801には、岩城硝子株式会社製の封止用低融点ガラス7583、日本電気硝子(株)製のLS-0110、LS-0803、オーエンスイリノイズ(株)製のXS-1175、京都セラミック(株)製のKC-402等を用いることができる。また、第2実施例の封止材806にはエポキシ樹脂等を用いることができる。

【0114】更に、本実施の形態8に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0115】[実施の形態9] 上述した実施の形態1から7の空間光変調素子において、例えば貫通孔103にマイクロレンズ101でスポット径を絞った平行光を入れたい場合、マイクロレンズ基板102の厚みを薄くする必要がある。図39に示すように、光源側のマイクロレンズ101より集光された一部の光(a)が対応するシャッタ105側のマイクロレンズ101に入射すると平行光として貫通孔103に入射される。ところが、マイクロレンズ基板102の厚みが厚いと、他の一部の光

21

(b) は並行光とはならず、隣接するマイクロレンズ101に入射されることになる。したがって、光(b)は迷光になり、得られる画像のコントラストや輝度の低下を招く原因となる。

【0116】この光(b)を生じさせないようにするには、マイクロレンズ基板102を薄くすれば良い。すなわち、光源側のマイクロレンズ101とシャッタ105側のマイクロレンズ101との距離が短くなるので、光源側のマイクロレンズ101によりいったん集光された光のすべてが対応するシャッタ105側のマイクロレンズ101に入射するため、前述したような問題は生じない。

【0117】一方、マイクロレンズ基板102を薄くした空間光変調素子に実施の形態8で説明した構成を適用した場合、マイクロレンズ基板102の剛性が低いためにマイクロレンズ基板102が変形してしまい、光学的特性に問題が生じる。

【0118】そこで、実施の形態9に係る空間光変調素子は、実施の形態8で説明した空間光変調素子に厚みの薄いマイクロレンズ基板102を用いた場合であっても、光学的特性に障害が起きないようにしたものである。

【0119】すなわち、実施の形態9に係る空間光変調素子は、実施の形態8の空間光変調素子において、マイクロレンズ基板102上の空間を封止し、当該空間の気圧を大気圧より低くしかつ真空又はほぼ真空とした空間(封止領域804)の気圧より高くしたものである。以下、この実施の形態9に係る空間光変調素子の構成を(第1実施例)、(第2実施例)及び(第3実施例)に基づいて詳細に説明する。

【0120】(第1実施例)図40は、実施の形態9に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。実施の形態9に係る空間光変調素子は、図40に示すように、窓材901を設けることによる画像品質の低下よりもマイクロレンズ基板102の厚みを薄くすることが優先する場合に有効である。第1実施例の空間光変調素子では、実施の形態8の第1実施例(図36)の封止領域804(第1封止領域とする)上に第2封止領域902を設けた構成となっている。すなわち、第1実施例の空間光変調素子は、ガラス台座903上に実施の形態8の空間光変調素子を載置し、マイクロレンズ基板102上に窓材901を配置すると共に、窓材901とガラス台座903とをソルダーガラス904で接合して構成したものである。したがって、第2封止領域902は、窓材901、ガラス台座903及びソルダーガラス904で囲まれた領域に形成される。

【0121】第1封止領域804は、前述したように真空或いは非常に希薄な不活性ガス(窒素、アルゴン、ヘリウムなど)が充填された状態になっている。このような状態においては、シャッタ105の運動に対して気体

22

の粘性による抵抗が働くため、機密封止しない場合(実施の形態9の構成を用いない場合)に比べて、シャッタ105の動作速度を向上させることができると共に、大気中のゴミや湿度による素子劣化の問題も解消することができる。

【0122】また、第2封止領域902は、第1封止領域804と第2封止領域902の外側、即ち外気の圧力の中間の圧力となっている。既に第1封止領域804によりシリコン基板202が保護されているため、第2封止領域902を満たす気体は空気であっても良いが、第1封止領域804と同様な不活性ガス(窒素、アルゴン、ヘリウム等)が好ましい。第2封止領域902を設けることにより、実施の形態8の場合よりもマイクロレンズ基板102にかかる圧力差を小さくできるため、マイクロレンズ基板102を薄くした場合であっても、圧力差によるマイクロレンズ基板102のひずみを小さくすることができる。したがって、光学的特性が劣化することが無く、空間光変調素子により投射された画像品質が低下することがない。

【0123】(第2実施例)図41は、実施の形態9に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。第2実施例の空間光変調素子は、ガラス基板201に第1実施例で説明したガラス台座903に役割を持たせたものである。この第2実施例の空間光変調素子においても、第1実施例の空間光変調素子と同様の効果を得ることができる。

【0124】(第3実施例)図42は、実施の形態9に係る空間光変調素子の第3実施例の構成を示す構成図である。第3実施例の空間光変調素子は、実施の形態8の第2実施例(図37)の空間光変調素子を用いたものである。すなわち、第3実施例の空間光変調素子は、マイクロレンズ101のN.A.(numerical aperture: 開口数)を大きくしたため、マイクロレンズ基板102とシリコン基板202間の距離を小さく、しかも精度良く保つ必要がある場合に有効である。この第3実施例の空間光変調素子においても、第1実施例の空間光変調素子と同様の効果を得ることができる。

【0125】なお、本実施の形態9に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を1組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0126】[実施の形態10] 実施の形態1から9の空間光変調素子において、シャッタ105を閉から開の状態に遷移させる場合、シャッタ105と貫通孔103内部の壁との間の電位差により生じる静電引力を用いてシャッタ105を貫通孔103内部の壁に近づけ、シャ

ッタ105を開状態にする。このときのシャッタ105の応答速度は、シャッタ105を開こうとする静電引力に対し、シャッタ105を閉状態に留めようとするシャッタ105自身の質量の慣性力とトーションバー105bのバネの戻り力の和により決まる。すなわち、シャッタ105の応答を速くするためには静電引力を強くする、つまり印加電圧を高くすれば良い。

【0127】ところがシャッタ105を開から閉状態に戻すときには静電引力は動かず、シャッタ105を閉状態に戻す力はトーションバー105bのバネの戻り力だけである。このバネ定数はトーションバー105bの寸法と材料で決まる。特に寸法はシャッタ105に必要とされる密度等、他の要因で制限されることが多く、自由に高い値に(バネ力を強く)設定することはできない。よって、シャッタ105が閉から開に移るときの速度より、開から閉に移るときの速度の方が遅い。このことは特に動画表示のような速いシャッタ速度が必要とされる場合に問題となる。

【0128】そこで、実施の形態10に係る空間光変調素子は、シャッタ105を開から閉に遷移させる場合においても充分な応答速度でシャッタが動くようにしたるものである。

【0129】すなわち、実施の形態10に係る空間光変調素子は、実施の形態1から9に係る空間光変調素子において、マイクロレンズ基板のシャッタ側の面に透光性導電膜を設け、この透光性導電膜と貫通孔内部の壁とシャッタとにそれぞれ所定の電圧を印加してシャッタを開閉させるものである。以下、この空間光変調素子の構成を(第1実施例)、(第2実施例)及び(第3実施例)に基づいて詳細に説明する。

【0130】(第1実施例)図43は、実施の形態10に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。図43に示す空間光変調素子において、シャッタ105の導電性の遮光板105aには導電性のトーションバー105bを介して電圧Vsが印加され、シリコン基板202を介して貫通孔103内部の壁にはバイアンス電圧Vbがそれぞれ印加されている。また、マイクロレンズ基板102のシャッタ105側の表面には可視光に対して透明で、かつ導電性の透明導電膜1001が設けられ、この透明導電膜1001には電圧Vtが印加される。透明導電膜1001の材料としては、InとSnとの化合物であるITO膜(代表的なものとしてSnO₂を5wt%含むもの)やInとSnの化合物であるIT膜(In₂O₃)やSnO₂膜を用いることができる。

【0131】以上の構成を備えた空間光変調素子の動作を説明する。図44は第1実施例の空間光変調素子の動作タイミングを示すタイミングチャートであり、図45は第1実施例の空間光変調素子の動作を説明するための説明図である。ここで、Vsは正の電圧Vhと接地電圧

の間で変動する矩形電圧、Vtは接地電圧、Vbは一定の正の電圧Vhに設定されている。

【0132】図44の時刻①のときはVs=Vh、Vt=0、Vb=Vhであるため、シャッタ105の遮光板105aと透明導電膜1001の間に電位差がある。したがって、遮光板105aと透明導電膜1001との間に静電引力Ftが働き、図45(a)に示すようにシャッタ105はマイクロレンズ基板102の透明導電膜1001に引き寄せられつつ閉状態になっている。

10 【0133】次に、図44の時刻②のときはVs=0、Vt=0、Vb=Vhであるため、遮光板105aと貫通孔103内部の壁との間に電位差がある。したがって、遮光板105aと貫通孔103内部の壁との間に静電引力Fbが働き(図45(b))、遮光板105aは貫通孔内部の壁に引き寄せられる。すなわち、シャッタ105は閉状態から開状態に移行する。

【0134】更に、図44の時刻③のときはVs=Vh、Vt=0、Vb=Vhであるため、遮光板105aと透明導電膜1001との間に電位差がある。したがって、遮光板105aと透明導電膜1001との間に働く静電引力Ftにより(図45(c))、遮光板105aは透明導電膜1001方向に引き寄せられる。すなわち、シャッタ105は開状態から閉状態に移行する。

【0135】このように、シャッタ105が開状態から閉状態に移行する場合も遮光板105aと透明導電膜1001との間に静電引力が働くため、トーションバー105bのバネの戻り力だけで遮光板105aが移動する場合に比べ、シャッタ105が開から閉状態移行する速度を速くすることができる。

30 【0136】(第2実施例)次に、実施の形態10に係る空間光変調素子の第2実施例を説明する。図46は第2実施例の空間光変調素子の動作タイミングを示すタイミングチャートであり、図47は第2実施例の空間光変調素子の動作を説明するための説明図である。第2実施例の空間光変調素子は、透明導電膜1001に印加する電位Vtを矩形電圧としたものであり、その他は第1実施例の空間光変調素子と同様である。

【0137】以下、第2実施例の空間光変調素子の動作を説明する。

40 【0138】図46の時刻①ではVs=Vh、Vt=Vh、Vb=Vhであるため、遮光板105aと透明導電膜1001及び貫通孔103内部の壁との間には電位差がなく、静電引力は働かない。したがって、空間光変調素子は図47(a)に示す状態のままである。

【0139】次に時刻②ではVs=0、Vt=0、Vb=Vhであるため、遮光板105aと貫通孔103内部の壁との間に電位差がある。したがって、遮光板105aと貫通孔103内部の壁との間に静電引力Fbが働き、遮光板105aは貫通孔103内部の壁に引き寄せられる。ここで、シャッタ105は閉状態から開状態に

移行する(図47(b))。

- 【0140】時刻③では $V_s = V_h$, $V_t = 0$, $V_b = V_h$ であるため, 遮光板105aと透明導電膜1001との間に電位差がある。したがって, 遮光板105aと透明導電膜1001との間に静電引力 F_t が働き, 遮光板105aは透明導電膜1001に引き寄せられる。ここで, シャッタ105は閉状態から閉状態に移行する(図47(c))。

【0141】時刻④では $V_s = V_h$, $V_t = V_h$, $V_b = V_h$ であるため, 遮光板105aと透明導電膜1001及び貫通孔103内部の壁との間には電位差がなく, 静電引力が働く。したがって, 空間光変調素子は図47(d)に示す状態のままである。

【0142】このように, シャッタ105が閉状態から閉状態に移行する場合も遮光板105aと透明導電膜1001との間に静電引力が働くため, トーションバー105bのバネの戻り力だけで遮光板105aが移動する場合に比べ, シャッタ105が閉から閉状態移行する速度を速くすることができる。また, 閉状態において遮光板105aが透明導電膜1001に引き寄せられたままにならないため, 2枚の遮光板105aの間の隙間が大きくなつて光が漏れ, 投射画像のコントラストが低下するということを防止することができる。

【0143】(第3実施例) 次に, 実施の形態10に係る空間光変調素子の第3実施例を説明する。図48は第3実施例の空間光変調素子の動作タイミングを示すタイミングチャートであり, 図49は第3実施例の空間光変調素子の動作を説明するための説明図である。第3実施例の空間光変調素子は, 第2実施例の空間光変調素子と同様, 透明導電膜1001に印加する電位 V_t を矩形電圧としたものであり, その他は第1実施例の空間光変調素子と同様である。

【0144】以下, 第3実施例の空間光変調素子の動作を説明する。

【0145】図48の時刻①では $V_s = V_h$, $V_t = V_h$, $V_b = V_h$ であるため, 遮光板105aと透明導電膜1001及び貫通孔103内部の壁との間には電位差がなく, 静電引力は働く。したがって, 空間光変調素子は図49(a)に示す状態のままである。

【0146】次に時刻②では $V_s = 0$, $V_t = 0$, $V_b = V_h$ であるため, 遮光板105aと貫通孔103内部の壁との間に電位差がある。したがって, 遮光板105aと貫通孔103内部の壁との間に静電引力 F_b が働き, 遮光板105aは貫通孔103内部の壁に引き寄せられる。ここで, シャッタ105は閉状態から開状態に移行する(図49(b))。

【0147】時刻③では $V_s = 0$, $V_t = V_h$, $V_b = V_h$ であるため, 遮光板105aと透明導電膜1001及び遮光板105a及び貫通孔103内部の壁の両方に電位差がある。しかしながら, 遮光板105aは貫通孔

103内部の壁に非常に近い位置にあるため, 遮光板105aを透明導電膜1001に引き寄せる静電引力 F_t より遮光板105aを貫通孔103内部の壁に引き寄せる静電引力 F_b の方が大きい。したがって, 遮光板105aは貫通孔103内部の壁から離れず, 開状態を保つ(図49(c))。

【0148】時刻④では $V_s = V_h$, $V_t = 0$, $V_b = V_h$ であるため, 遮光板105aと透明導電膜1001との間に電位差がある。したがって, 遮光板105aと透明導電膜1001との間に静電引力 F_t が働き, 遮光板105aは透明導電膜1001に引き寄せられる。ここで, シャッタ105は閉状態から閉状態に移行する(図49(d))。

【0149】時刻⑤では $V_s = V_h$, $V_t = V_h$, $V_b = V_h$ であるため, 遮光板105aと透明導電膜1001及び貫通孔103内部の壁との間には電位差がなく, 静電引力が働く。したがって, 空間光変調素子は図49(e)に示す状態のままである。

【0150】このように, シャッタ105が閉状態から閉状態に移行する場合も遮光板105aと透明導電膜1001との間に静電引力が働くため, トーションバー105bのバネの戻り力だけで遮光板105aが移動する場合に比べて, シャッタ105が閉から閉状態移行する速度を速くすることができる。また, 閉状態において遮光板105aが透明導電膜1001に引き寄せられたままにならないため, 2枚の遮光板105aの間の隙間が大きくなつて光が漏れ, 投射画像のコントラストが低下するということを防止することができる。

【0151】なお, 第1実施例～第3実施例の空間光変調素子において, 各電圧の V_h と0を交換, 即ち電圧極性を負にしても前述した動作をさせることができると。

【0152】また, 本実施の形態10に係る空間光変調素子においても, 図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし, 従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより, 各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより, 一枚の空間光変調素子によりフルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0153】[実施の形態11] 上述した実施の形態10の発明においては, シャッタ105が形成されているシリコン基板202にはシャッタ105だけでなく, シャッタ105に電圧を印加するためのトランジスタやこれに信号, 電源を入力する配線などで構成される駆動回路が配置されている。一方, シリコン基板202には光を通過させるための貫通孔103が設けられている。したがって, 貫通孔103の存在によりシリコン基板202上に駆動回路を配置する面積が少なくなる。特に電源及びGNDラインは配線幅が狭いと配線抵抗が高くなり

誤動作の原因になる。

- 【0154】そこで、実施の形態11に係る空間光変調素子は、実施の形態10に係る空間光変調素子において、駆動回路の配置に余裕を持たせ、かつ電源或いはGND配線の配線抵抗を低くし誤動作を少なくしたものである。

【0155】図50は、実施の形態11に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図50に示す空間光変調素子には、シリコン基板202表面に透明導電膜1001と、シリコン基板202上に設けられた駆動回路1101間を結ぶ電極1102とが設けられている。

【0156】この電極1102には、シャッタ105とマイクロレンズ基板102との距離を定めるスペーサとしての機能もある。また、電極1102は、マイクロレンズ基板102に設けられた透明導電膜1001を介し、図示しない外部回路・電源の接地電位に接続されている。このように透明導電膜1001を接地電位としているため、電極1102から駆動回路1101に接地基準電位を供給することができる。

【0157】したがって、実施の形態11の空間光変調素子によれば、シリコン基板202上に接地電位を供給する配線（いわゆるGNDライン）を設ける必要がないため、シリコン基板202上のトランジスタや他の配線の配置に余裕ができる。また、透明導電膜1001はマイクロレンズ基板102全面に存在するため、マイクロレンズ基板102の周辺から各シャッタ105の駆動回路1101までの配線抵抗を、シリコン基板202上に配線した場合より遥かに小さくすることができる。よって、高抵抗なGNDラインを原因とする空間光変調素子の誤動作を少なくすることができる。

【0158】また、図50に示す空間光変調素子においては、透明導電膜1001が接地電位にあるため、実施の形態10の第1実施例で説明した方法を用いてシャッタ105を開閉させることができる。

【0159】更に、透明導電膜1001はGNDラインとして用いるだけでなく、シリコン基板202上の駆動回路1101に電源電圧を供給するための電源ラインとしても使用することができる。

【0160】【実施の形態12】実施の形態1～11に係る空間光変調素子においては、シャッタ105が形成された基板にはシャッタ105だけでなく、シャッタ105に電圧を印加するためのトランジスタやこれに信号、電源を入力する配線などで構成される駆動回路が配置される。一方、シャッタ105が形成された基板には、光を通過させるための貫通孔103が形成されている。したがって、貫通孔103の存在により駆動回路を配置する面積が少なくなる。特に電源及びGNDラインは配線幅が狭いと配線抵抗が高くなり誤動作の原因になる。

【0161】そこで、実施の形態12に係る空間光変調

素子は、駆動回路の配置に余裕を持たせ、かつ電源或いはGND配線抵抗を低くし誤動作を少なくしたものである。

【0162】図51は、実施の形態12に係る空間光変調素子の構成を示す構成図であり、実施の形態11に係る空間光変調素子を用いて構成した例を示している。なお、実施の形態12に係る空間光変調素子において、実施の形態11に係る空間光変調素子と同一の構成には同一の符号を付し、その構成及び動作の説明は省略する。

- 10 【0163】図51に示す空間光変調素子において、シリコン基板202裏面には低抵抗層1201が設けられている。低抵抗層1201は、シリコン基板202の周辺部で図示しない電源電位（Vdd）に接続されている。この低抵抗層1201からシリコン基板202、バイア電極1202を介して、駆動回路1101に電源が供給される。

【0164】図52は駆動回路1101の概略構成を示す構成図である。図52においては、シリコン基板202としてn型基板1203を用い、駆動回路1101としてCMOSゲート1206, 1208からなるデジタル回路を用いている。なお、図52には説明の便宜上1ゲート分のみを示した。ここでは低抵抗層1201として、シリコン基板202裏面にn型の不純物を高濃度にドーピングした拡散層を用いている。

- 20 【0165】低抵抗層1201から供給された電源電圧は、n型基板1203とバイア電極1202を介してp-mosトランジスタ1206に供給されている。また、p-well層1207内のn-mosトランジスタ1208は、実施の形態11で説明したように、電極1101、マイクロレンズ基板102上の透明導電膜1001を介してGNDに接続されている。なお、1209, 1210はゲート電極、1211はCMOSゲート入力端子を示している。

【0166】このように、実施の形態12に係る空間光変調素子によれば、シリコン基板202上に電源電圧を供給する配線を設ける必要がないため、シリコン基板202上のトランジスタや他の配線に余裕ができる。また、低抵抗層1201はシリコン基板202裏面全面に存在するため、シリコン基板202上に配線した場合よりシリコン基板202の周辺から各シャッタ105の駆動回路1101までの配線抵抗を遥かに小さくすることができる。よって、高抵抗なGNDラインを原因とする空間光変調素子の誤動作を少なくすることができる。

- 40 【0167】また、低抵抗層1201は電源電圧ラインとして用いるだけでなく、シリコン基板202上の駆動回路1101に接地電位を供給するためのGNDラインとしても使用することができる。この場合は、シリコン基板202をp型基板にして、n-well層の中にp-mosトランジスタを、p型基板の中にn-mosトランジスタを作製すれば良い。

【0168】更に、図51に示す空間光変調素子では、マイクロレンズ基板102にGNDラインとしての透明導電膜1001を設けてあるが、特にこれが無くても上記効果を得ることができる。

【0169】なお、本実施の形態11に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0170】[実施の形態13] 実施の形態1から11の発明においては、シャッタ105が形成された基板上に駆動回路を設けるため、シリコン等の半導体材料の基板(半導体基板)が用いられる。ところが、一般に半導体材料は金属材料に比べて可視光に対する透過率が高い。特に厚みの薄い半導体基板を用いるときに可視光に対する透過率が高いことが問題となる。例えば20μmの間隔でシャッタを設けようとした場合、半導体基板の厚みを5μm程度にしないと貫通孔は形成することができないが、5μmの厚みのシリコンにおいて700nmの波長の光に対する透過率は24%になる。

【0171】一方、マイクロレンズ101により集光あるいは平行光化され、貫通孔103に導入された光は、その一部が半導体基板に照射されることがある。半導体基板の透過率が前述した値である場合、この光は半導体基板を透過し迷光となってスクリーン上の画像のコントラストや輝度を低下させる原因となる。

【0172】また、シャッタ105が形成された基板にはシャッタ105だけでなく、シャッタ105に電圧を印加するためのトランジスタやこれに信号、電源を入力する配線などで構成される駆動回路1101が配置されている。一方、基板には貫通孔103が形成されている。したがって、貫通孔103の存在により駆動回路を配置する面積が少なくなる。特に電源及びGNDラインは配線幅が狭いと配線抵抗が高くなり誤動作の原因になる。

【0173】実施の形態13に係る空間光変調素子は、空間光変調素子を用いた投影型ディスプレイの画質の向上、誤動作の低減を図るものである。すなわち、実施の形態13に係る空間光変調素子は、シャッタが形成された基板に対し、シャッタが設けられた面の反対側の面に遮光層を設けたものである。以下、この空間光変調素子の構成を(第1実施例)及び(第2実施例)に基づいて詳細に説明する。

【0174】(第1実施例) 図53は、第1実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図53に示す空間光変調素子には、シリコン基板202の貫通孔103以外の部分に可視光を透過しない遮光層1301

が設けられている。遮光層1301を設けることにより、薄いシリコン基板202を透過した可視光が貫通孔103以外から漏れることを防ぐことができる。よって、投射される画像のコントラストを向上させることができる。

【0175】なお、可視光を吸収する遮光層の材料としては、InAs, GaSb, InSb, PbS, PbTe, Te又は(株)東芝製のIR-DIB, IR-DIA等を用いることができる。

10 【0176】(第2実施例) 図54は、第2実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図54に示す空間光変調素子においては、第1実施例の遮光層1301に代えて、導電性の遮光層兼低抵抗層1302が設けられている。この遮光層兼低抵抗層1302を用いることにより、シリコン基板202を透過する光を遮光するという役割に加え、実施の形態12に係る空間光変調素子に設けられた低抵抗層1201(図51参照)の役割を持たせることができる。

【0177】遮光層兼低抵抗層1302は、シリコン基板202の周辺部で図示しない電源電位(Vdd)に接続されており、遮光層兼低抵抗層1302からシリコン基板202, バイア電極1202を介して、駆動回路1101に電源が供給される。

20 【0178】このように、第2実施例の空間光変調素子によれば、シリコン基板202上に電源電圧を供給する配線を設ける必要がないため、シリコン基板202上のトランジスタや他の配線の配置に余裕を持たせることができる。また、遮光層兼低抵抗層1302はシリコン基板202裏面全面に形成されているため、シリコン基板202の周辺から各シャッタ105の駆動回路1101までの配線抵抗をシリコン基板202上に配線した場合より遙かに小さくすることができる。よって、高抵抗な電源電圧ラインを原因とする空間光変調素子の誤動作を少なくすることができる。

30 【0179】また、遮光層兼低抵抗層1302は、電源電圧ラインとして用いるだけでなく、シリコン基板202上の駆動回路1101に接地電位を供給するためのGNDラインとしても使用することができる。

【0180】なお、遮光層兼低抵抗層1302の材料としては、InAs, GaSb, InSb, PbS, PbTe, Teに低抵抗化のための不純物をドーピングしたものや、金属材料としてAg, Au, Cd, Pb, Cu, Pd, Pt, Sn, Zn、特に好ましくは、酸化シリコンとの密着性の良いAl, Co, Cr, Fe, Mg, Mo, Ni, Ta, Ti, V, W, Zr等を用いることができる。

40 【0181】なお、本実施の形態13に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャ

タ 105 でそれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0182】[実施の形態14] 実施の形態2から11に係る空間光変調素子においては、シャッタ105に働く静電引力をより大きくすることによりシャッタ105の小型化、即ち空間光変調素子の小型化、シャッタ応答速度の向上を図ることができる。静電引力を大きくする方法としては印加電圧を高くすることが考えられるが、駆動回路1101の耐圧や、シャッタ105と対向する固定電極（貫通孔103内部の壁）間の放電などの問題から限界がある。

【0183】そこで、実施の形態14に係る空間光変調素子は、シャッタに働く静電引力を大きくし、より低い駆動電圧によるシャッタの駆動、空間光変調素子の小型化、シャッタの応答速度の向上を図るものである。すなわち、実施の形態14に係る空間光変調素子は、ガラス基板（透光性基板）のシリコン基板（非透光性基板）に接触する側の面上に透明導電膜を形成したものである。以下、この空間光変調素子の構成を（第1実施例）及び（第2実施例）に基づいて詳細に説明する。

【0184】（第1実施例）図55は、実施の形態14の第1実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図55においてシリコン基板202は、実施の形態2で説明したように透光性のガラス基板201上に形成されている。そして、ガラス基板201とシリコン基板202の間には透明導電膜1401が形成されている。この透明導電膜1401は可視光に於いて透明であるため、貫通孔103の出口部分を含むガラス基板201とシリコン基板202の間の全面に設けることができる。

【0185】透明導電膜1401はシリコン基板202と接触しているため、シリコン基板202と同電位になり、よって貫通孔103内部の壁とも同電位になる。したがって、ガラス基板201上で貫通孔103に露出している透明導電膜1401の面は貫通孔103内部の壁と同電位になる。

【0186】このような構成において、シャッタ105の遮光板105aが閉状態から開状態に移行するとき、遮光板105aは貫通孔103内部の壁との間の静電引力だけでなく、貫通孔103に露出している透明導電膜1401との間の静電引力によっても貫通孔103内部の壁方向に引き寄せられる。したがって、閉から開状態になる際に遮光板105aが受ける静電引力をより強くすることができるため、シャッタ105の応答スピードの向上、シャッタ寸法の小型化、あるいは印加電圧の低減を図ることができる。

【0187】また、透明導電膜1401はガラス基板201の周辺部で電源電圧Vddに接続されている。この

ように透明導電膜1401に電源電圧Vddを印加する構成としているため、透明導電膜1401を介して駆動回路1101に電源電圧を供給することができる。したがって、シリコン基板202上に電源電圧を供給する配線（いわゆる電源ライン）を設ける必要がないため、シリコン基板202上のトランジスタや他の配線の配置に余裕を持たせることができる。また、透明導電膜1401はガラス基板201全面に設けられているため、シリコン基板202上に配線した場合よりガラス基板201の周辺から各シャッタ105の駆動回路1101までの配線抵抗を遥かに小さくすることができる。これにより高抵抗な電源ラインを原因とする空間光変調素子の誤動作を少なくすることができる。

【0188】（第2実施例）図56は、実施の形態14の第2実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。この第2実施例に係る空間光変調素子は、実施の形態13で説明したように、シリコン基板202を透過する光による画質の低下を防ぎつつ、シャッタの応答速度等を向上させたものである。

【0189】図56に示す空間光変調素子において、貫通孔103の出口部分には透明導電膜1401が設けられ、貫通孔103の出口以外のガラス基板201とシリコン基板202との間には遮光層兼低抵抗層1402が設けられている。遮光層兼低抵抗層1402は、ガラス基板201又はシリコン基板202の周辺部で電源電位（Vdd）に接続されている。したがって、遮光層兼低抵抗層1402からシリコン基板202、バイア電極1202を介して、駆動回路1101に電源が供給される。

【0190】また、透明導電膜1401も、ガラス基板201又はシリコン基板202の周辺部で電源電位（Vdd）に接続されている。したがって、ガラス基板1202上で貫通孔103に露出している面は貫通孔103内部の壁と同電位になる。このような構成において、シャッタ105の遮光板105aが閉状態から開状態に移行するとき、遮光板105aは貫通孔103内部の壁との間の静電引力だけでなく、貫通孔103に露出している透明導電膜1401との間の静電引力によっても貫通孔103内部の壁に引き寄せられる。したがって、閉から開状態になる際に遮光板105aが受ける静電引力をより強くすることができるため、シャッタ105応答スピードの向上、シャッタ寸法の小型化及び印加電圧の低減を図ることができる。

【0191】また、遮光層兼低抵抗層1402はガラス基板201のほぼ全面に存在するため、シリコン基板202上に配線した場合よりガラス基板201の周辺から各シャッタ105の駆動回路1101までの配線抵抗を遥かに小さくすることができる。これにより、高抵抗な電源ラインを原因とする空間光変調素子の誤動作を少なくすることができる。

【0192】更に、貫通孔103の出口に設けられた透明導電膜1401と遮光層兼低抵抗層1402を一部重ねることにより、特にガラス基板201又はシリコン基板202の周辺から透明導電膜1401に直接電源を供給する必要をなくすことができる。

【0193】以上説明した図55及び図56に示す第1及び第2実施例の空間光変調素子では、マイクロレンズ基板102にGNDラインとしての透明導電膜1001(実施の形態10参照)が設けられているが、特にこれが無くても上記効果を得ることができる。また、透明導電膜1401又は遮光層兼低抵抗層1402を介してシリコン基板202上の駆動回路1101に電源を供給するという構成としなくとも、シャッタ105応答スピードの向上、シャッタ寸法の小型化及び印加電圧の低減を図るという効果を得ることはいうまでもない。

【0194】なお、本実施の形態14に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれぞれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0195】[実施の形態15]実施の形態2で説明したように、空間光変調素子に用いる基板としては、Si等の半導体材料でできている非透光性基板とガラス等の可視光に対して透過である透光性基板を積層したものにすることが望ましい場合がある。このような基板を得るためにには製造過程で非透光性基板と透光性基板とを接合する必要がある。この接合の方法としては半導体、特にシリコンとガラスの間に電圧を印加し、300°C程度に熱して接合を行ういわゆる陽極接合が挙げられる。ところが、陽極接合を行う際に印加される電圧は1kV程度であるため、半導体基板の表面、即ちシャッタ105が形成されている表面から電圧を印可すると表面に形成されている駆動回路やシャッタが高い電圧のエネルギーにより破壊されてしまうことがある。

【0196】また、シャッタ105が形成される非透光性基板には、シャッタ105だけでなく、シャッタ105に電圧を印加するためのトランジスタやこれに信号、電源を供給するための配線等で構成される駆動回路1101が配置される。一方、シャッタ105が形成される非透光性基板には光を通過させるための貫通孔103が形成されている。したがって、貫通孔103の存在により駆動回路1101を非透光性基板に配置する面積が少なくなる。特に、電源及びGNDラインは配線幅が狭いと配線抵抗が高くなり、空間光変調素子の誤動作の原因となる。

【0197】そこで、実施の形態15に係る空間光変調

素子は、空間光変調素子の機械的剛性を低下することなく、空間光変調素子を用いて得られる画像の輝度・画質の向上を図り、半導体等の非透光性基板とガラス等の透光性基板を接合する陽極接合の際、シャッタや駆動回路が破壊されることを防止し、駆動回路の配置に余裕を持たせ、更には電源又はGND配線の配線抵抗を低くしたものである。

【0198】図57は、実施の形態15に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。図57に示す空間光変調素子において、シャッタ105が形成された非透光性基板であるシリコン基板202は、低抵抗層1501を介して透光性基板であるガラス基板201に接合されている。低抵抗層1501は、n型の不純物を高濃度にドーピングして作製した拡散層であり、シリコン基板202の周辺部で図示しない電源電位(Vdd)に接続されている。この低抵抗層1501からシリコン基板202、バイア電極1202を介して、駆動回路1101に電源が供給される。なお、低抵抗層1501から駆動回路1101に電源を供給する機構については実施の形態12で図52を用いて説明したため、ここではその説明を省略する。

【0199】このように、実施の形態15の空間光変調素子によれば、シリコン基板202上に電源電圧を供給する配線を設ける必要がないため、シリコン基板202上のトランジスタや他の配線の配置に余裕を持たせることができる。また、低抵抗層1501はシリコン基板202裏面全面に存在するため、シリコン基板202上に配線した場合よりシリコン基板202の周辺から各シャッタの駆動回路までの配線抵抗を遙かに小さくすることができる。これにより高抵抗な電源ラインを原因とする空間光変調素子の誤動作を少なくすることができます。

【0200】また、ガラス基板201とシリコン基板202とは、前述したように接合の強さ、接着剤が不要などの理由から陽極接合により接合される場合が多い。陽極接合は、300°Cの零圧気でシリコン基板202とガラス基板201間にシリコン側から1kV程度の電圧を印加して行われる。このとき、1kVの高電圧によりシリコン基板202上の回路が破壊されることがある。これはシリコン基板202上の回路を介して電圧を印加するためである。

【0201】実施の形態15の空間光変調素子では、低抵抗層1501をシリコン基板202のシャッタ105と反対側の面に設けたため、図58に示すように低抵抗層1501とガラス基板201との間に高電圧を印加することができる。よって、シリコン基板202上の回路から高電圧を印加する必要がなく、陽極接合の工程でシリコン基板202上の回路が破壊されることを防止することができる。なお、1502は接合用電極を示している。

【0202】また、低抵抗層1501は電源電圧ライン

として用いるだけでなく、シリコン基板202上の駆動回路1101に接地電位を供給するためのGNDラインとしても使用することができる。この場合は、シリコン基板202をp型にして、n-well層の中にp-mosトランジスタを、p型基板の中にn-mosトランジスタを作製すれば良い(図52参照)。

【0203】図57に示す空間光変調素子においては、マイクロレンズ基板102にGNDラインとして透明導電膜1001が設けられているが、特にこれが無くても上記効果を得ることができる。また、低抵抗層1501を介してシリコン基板202上の駆動回路1101に電源を供給するという構成にしなくとも、陽極接合時の歩留まり向上という効果を得ることができることはいうまでもない。

【0204】また、シリコン基板に代表される非透光性基板とガラス基板に代表される透光性基板との接合は、陽極接合の他、紫外線効果型接着剤、熱硬化型の接着剤、嫌気性の接着剤などを用いて接合することができる。

【0205】更に、シャッタが作製される非透光性基板として、Siの他、Ge、Cなどの半導体、Ga、As、In、P、Al等から構成される化合物半導体(GaAs, GaP, GaInAsP, InP等)、Zn, Te, S, Se, Cdなどから構成される化合物半導体(ZnSe, CdS, CdTe等)等を用いることができる。また透光性基板として、石英、ホウケイ酸ガラス(例えばコーニング(社)の7740, 7070)、低融点ガラス、ソーダガラス等を用いても良い。

【0206】なお、本実施の形態15に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれぞれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0207】[実施の形態16]実施の形態1から11の発明においては、シャッタ105を駆動する駆動回路を設けるため、シャッタ105が形成される基板にはシリコン等の半導体材料の基板(半導体基板)が用いられる。ところが、一般に半導体材料は金属材料に比べて可視光に対する透過率が高い。特に厚みの薄い半導体基板を用いるときに可視光に対する透過率が高いことが問題となる。例えば20μmの間隔でシャッタを設けようとした場合、半導体基板の厚みを5μm程度にしないと貫通孔は形成することができないが、5μmの厚みのシリコンにおいて700nmの波長の光に対する透過率は24%になる。

【0208】一方、マイクロレンズ101により集光あるいは平行光化され、貫通孔103に導入された光は、そ

の一部が半導体基板に照射されることがある。半導体基板の透過率が前述した値である場合、この光は半導体基板を透過し迷光となってスクリーン上の画像のコントラストや輝度を低下させる原因となる。

【0209】また、シャッタ105が形成された基板にはシャッタ105だけでなく、シャッタ105に電圧を印加するためのトランジスタやこれに信号、電源を入力する配線などで構成される駆動回路が配置されている。一方、基板には貫通孔103が形成されている。したがって、貫通孔103の存在により駆動回路を配置する面積が少なくなる。特に電源及びGNDラインは配線幅が狭いと配線抵抗が高くなり誤動作の原因になる。

【0210】更に、実施の形態2で説明したように、空間光変調素子に用いる基板としては、Si等の半導体材料でできている非透光性基板とガラス等の可視光に対して透過である透光性基板を積層したものにする望ましい場合がある。このような基板を得るためにには製造過程で非透光性基板と透光性基板とを接合する必要がある。この接合の方法としては半導体、特にシリコンとガラスの間に電圧を印加し、300°C程度に熱して接合を行いうわゆる陽極接合が挙げられる。ところが、陽極接合を行う際に印加される電圧は1kV程度であるため、半導体基板の表面、即ちシャッタが形成されている表面から電圧を印可すると表面に形成されている駆動回路やシャッタが高い電圧のエネルギーにより破壊されてしまうことがある。

【0211】そこで、実施の形態16に係る空間光変調素子は、空間光変調素子を用いた投射型ディスプレイの画質の向上を図り、半導体等の非透光性基板とガラス等の透光性基板を接合する陽極接合の際、シャッタや駆動回路が破壊されることを防止し、更には電源又はGND配線の配線抵抗を低くしたものである。すなわち、実施の形態16に係る空間光変調素子は、透光性基板と非透光性基板の間に遮光層を設けたものである。以下、この空間光変調素子の構成を(第1実施例)及び(第2実施例)に基づいて詳細に説明する。

【0212】(第1実施例)実施の形態2で説明したように、空間光変調素子の光学的特性を向上するために、基板104をシャッタが形成される基板とガラス基板との2層構造とすることが望ましい。本実施の形態16に係る空間光変調素子は、実施の形態2に係る空間光変調素子に実施の形態13に係る空間光変調素子を適用したものである。したがって、実施の形態2及び13で既に説明した点についてはその説明を省略する。

【0213】図59は、実施の形態16の第1実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。シャッタ105が作製されている非透光性基板であるシリコン基板202は、遮光層1601を介して透光性基板であるガラス基板201に接合されている。遮光層1601は、ガラス基板201とシリコン基板202との間であ

って、シリコン基板202に形成された貫通孔103の開口部以外の部分に設けられる。

【0214】このように遮光層1601を設けることにより、薄いシリコン基板202を透過した可視光が貫通孔103以外から漏れることを防止することができる。よって、空間光変調素子から投射される画像のコントラストを向上させることができる。

【0215】なお、可視光を吸収する遮光層1601には、InAs, GaSb, InSb, PbS, PbTe, Te又は(株)東芝製のIR-DIB, IR-DIA等の材料を用いることができる。

【0216】シリコン基板202としての非透光性基板としては、Siの他、Ge, Cなどの半導体、或いはGa, As, In, P, Alなどから構成される化合物半導体(GaAs, GaP, GaInAsP, InP等)、或いはZn, Te, S, Se, Cdなどから構成される化合物半導体(ZnSe, CdS, CdTe等)等の材料を用いることができる。

【0217】また、ガラス基板201としての透光性基板としては、石英、ホウケイ酸ガラス(例えばコーニング(社)の7740, 7070)、低融点ガラス、ソーダガラス等の材料を用いることができる。

【0218】(第2実施例)図60は、実施の形態16の第2実施例に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。第2実施例の空間光変調素子では、実施の形態12で説明した低抵抗層1201(図51参照)を適用し、第1実施例の遮光層1601に代えて導電性の遮光層兼低抵抗層1602としている。

【0219】この遮光層兼低抵抗層1602は、シリコン基板202の周辺部で図示しない電源電位(Vdd)に接続されている。したがって、この遮光層兼低抵抗層

1602からシリコン基板202、バイア電極1202を介して、駆動回路1101に電源が供給される。このようにシリコン基板202上に電源電圧を供給する配線を設ける必要がないため、シリコン基板202上のトランジスタや他の配線の配置に余裕を持たせることができる。また、遮光層兼低抵抗層1602はシリコン基板202の裏面全面に存在するので、シリコン基板202の周辺から各シャッタ105の駆動回路1101までの配線抵抗を、シリコン基板202上に配線した場合より確かに小さくすることができる。これにより高抵抗な電源電圧ラインを原因とする空間光変調素子の誤動作を少なくすることができる。

【0220】また、遮光層兼低抵抗層1602は電源電圧ラインとして用いるだけでなく、シリコン基板202上の駆動回路1101に接地電位を供給するためのGNDラインとしても使用することができる。

【0221】遮光層兼低抵抗層1602の材料としては、InAs, GaSb, InSb, PbS, PbTe, Teに低抵抗化のための不純物をドーピングしたものの、金属材料であるAg, Au, Cd, Pb, Cu, Pd, Pt, Sn, Zn、特に好ましくは、酸化シリコンとの密着性の良い、Al, Co, Cr, Fe, Mg, Mo, Ni, Ta, Ti, V, W, Zr等を用いることができる。

【0222】また、遮光層兼低抵抗層1602は非透光性基板と透光性基板間とを接合する接着剤としての機能もある。この場合の材料としては、エポキシ系の導電性接着剤や、表2に示す合金ソルダーを用いることができる。

30 【0223】

【表2】

Sn/Pb 合金系ソルダー	Sn/Pb
Pb 基合金ソルダー	Pb/In Pb/Ag Pb/Sb Pb/In/Ag Pb/Ag/Sb Pb/In/Sb Pb/Sn/Sb
Sn 基合金ソルダー	Sn/Sb Sn/Ag Sn/Au Sn/Pb/Cu
In 基合金ソルダー	In/Sn In/Ag In/Pb In/Ag/Pb
Bi 基合金ソルダー	Bi/Sn Bi/Sn/Pb Bi/Sn/Cd Bi/Sn/In
Au 基合金ソルダー	Au Au/Si Au/Ga Au/Sn Au/In Au/Sb Au/Ga Au/Pb Au/Cu
Al 基合金ソルダー	Al/Si Zn/Ge/Al
Zn 基合金ソルダー	Zn/Ge Zn/Al Zn/Ag/Ge Zn/Sb Zn

【0224】遮光層兼低抵抗層1602を用いた場合、シリコン基板202とガラス基板201とを陽極接合する際に、遮光層兼低抵抗層1602を電極として遮光層兼低抵抗層1602とガラス基板201間に高電圧を印加することができるため、シリコン基板202上に形成された回路に高電圧を印加する必要がなくなる(図58参照)。したがって、ガラス基板201とシリコン基板202とを陽極接合する際に、シリコン基板202上の回路が破壊されることが少なくなり歩留まりが向上する。

【0225】なお、図59及び図60に示す第1及び第2実施例の空間光変調素子においては、マイクロレンズ基板102にGNDラインとしての透明導電膜1001が設けられているが、特にこれが無くても上記効果を得ることができる。

【0226】また、本実施の形態15に係る空間光変調素子においても、図10に示すように3枚のシャッタ105を一組にし、従来技術3のように異なる角度からRGBの三原色に分解した光を入射することにより、各シャッタ105でそれぞれに対応する色の光の制御を行うことができる。これにより、一枚の空間光変調素子により、フルカラー表示が可能な投写型ディスプレイを実現することができる。

【0227】

【発明の効果】以上説明したように本発明の空間光変調素子(請求項1)によれば、光を集光するレンズと、レンズで集光された光が入射され、光を通過させる貫通孔を備えた基板と、基板に設けられ、貫通孔に入射された光

30

の通過・非通過を制御するシャッタとを備えているため、開口率を低下させることなく、貫通孔の開口部の基板表面全体に占める割合を従来のものより低くでき、基板上に駆動回路等を設けるためのスペースを確保することができる。また、シャッタの移動距離を小さくすることができ、静電引力によるシャッタ開閉動作を容易に行うことができる。したがって、より簡単な工程により製造可能で、かつ誤動作が少ない空間光変調素子を得ることができる。そしてこの空間光変調素子によれば、スクリーン上にコントラストの高い画像等を結像することができる。

【0228】また、本発明の空間光変調素子(請求項2)によれば、請求項1記載の空間光変調素子において、基板が、光を透過する透光性基板と、透光性基板上に形成され、光を透過しない非透光性基板とからなり、非透光性基板が、貫通孔とシャッタとを備えることとしたため、貫通孔に入射された光が貫通孔内部の壁面により散乱されることを防止できる。したがって、空間光変調素子を用いて得られる画像の輝度・画質を向上することができる。

【0229】また、本発明の空間光変調素子(請求項3)によれば、請求項1又は2記載の空間光変調素子において、貫通孔内部の壁面が、基板表面に対して傾斜しているため、より小さなビームウェストのスポット径を持つ光を開口部に入射することができる。したがって、空間光変調素子の大きさを小さくすることができると共に、この空間光変調素子を用いて得られる画像の輝度・画質を向上することができる。

50

【0230】また、本発明の空間光変調素子（請求項4）によれば、請求項3記載の空間光変調素子において、シャッタが、貫通孔の開口部に設けられて光を遮光する遮光部材と、貫通孔内部の壁面方向に遮光板を旋回可能に支持する支持部材とからなり、シャッタと貫通孔内部の壁との間に電圧を印加してシャッタを開くことによりしたため、シャッタと貫通孔内部の壁との間に働く静電引力を強くすることができる。したがって、開口率を下げることなく、かつフラップ型のシャッタの駆動電圧を高くすることなく、シャッタを小型化し、空間光変調素子の小型化及び低コスト化を図ることができる。

【0231】また、本発明の空間光変調素子（請求項5）によれば、請求項1から4のいずれかに記載の空間光変調素子において、シャッタを備えた基板が、単結晶基板であり、貫通孔が、結晶軸異方性エッチングにより単結晶基板中に形成されることにしたため、高いエッチングスピードで貫通孔を形成することができると共に、形状の精度が高い貫通孔を得ることができる。したがって、誤動作の少ない低コストな空間光変調素子を得ることができる。

【0232】また、本発明の空間光変調素子（請求項6）によれば、請求項5記載の空間光変調素子において、単結晶基板が、(110)面の面方位を持つ単結晶シリコンからなり、シャッタが、貫通孔の開口部の単結晶基板の<110>軸に平行な辺に設けられることにしたため、基板中の貫通孔の密度を高くできる。したがって、空間光変調素子の小型化及び低コスト化を図ることができる。

【0233】また、本発明の空間光変調素子（請求項7）によれば、請求項6記載の空間光変調素子において、貫通孔が、単結晶基板内にハニカム状に配列されることにしたため、より高い密度でシャッタを配置でき、開口率を高くすることができる。その結果、空間光変調素子を介してスクリーンに投影された画像の輝度を向上することができる。また、空間光変調素子の小型化を図ることができると共に、あまり高い密度でシャッタを配置しない場合は、シャッタやレンズに要求される性能を低くし、空間光変調素子の設計の余裕度・自由度を高めることができる。

【0234】また、本発明の空間光変調素子（請求項8）によれば、請求項1から7のいずれかに記載の空間光変調素子において、レンズを複数有したレンズ基板を備え、レンズ基板とシャッタが形成された基板との間の空間を封止して真空又はほぼ真空とし、当該空間内にシャッタを位置させることにしたため、シャッタの動作速度や応答の低下及び腐食等を防止することができると共に、空間光変調素子の光学的性能の低下をも防止することができる。

【0235】また、本発明の空間光変調素子（請求項9）によれば、請求項8記載の空間光変調素子におい

て、レンズ基板上の空間を封止し、当該空間の気圧を大気圧より低くしかつ真空又はほぼ真空とした空間の気圧より高くすることにしたため、厚みが薄く、剛性が低いマイクロレンズ基板を用いた場合であっても、シャッタをマイクロレンズ基板と基板との間に形成された真空又はほぼ真空の領域に配置することができる。したがって、シャッタの動作速度や応答の低下及び腐食等を防止することができる共に、空間光変調素子の光学的性能の低下をも防止することができる。

10 【0236】また、本発明の空間光変調素子（請求項10）によれば、請求項1から9のいずれかに記載の空間光変調素子において、レンズ基板が、シャッタ側の面に透光性導電層を備え、透光性導電層と貫通孔内部の壁とシャッタとにそれぞれ所定の電圧を印加してシャッタを開閉させることにしたため、シャッタが開から閉に遷移する場合に於いても、動画表示に必要な速い応答速度でシャッタが動くようになることができる。

【0237】また、本発明の空間光変調素子（請求項11）によれば、請求項10記載の空間光変調素子において、シャッタが設けられた基板が、シャッタを駆動する駆動回路を備え、透光性導電層と駆動回路とを電気的に接続すると共に、透光性導電層に駆動回路の基準電圧又は電源電圧を印加することにしたため、駆動回路の配置に余裕を持たせることができると共に、電源又はGND配線の配線抵抗を低くすることができる。したがって、空間光変調素子の誤動作を少なくすることができる。

20 【0238】また、本発明の空間光変調素子（請求項12）によれば、請求項1又は請求項3から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、基板が、シャッタが設けられた面の反対側の面に低抵抗層を備えることとしたため、基板上に接地電位を供給する配線（いわゆるGNDライン）又は電源ラインを設ける必要をなくすことができる。したがって、基板上のトランジスタや他の配線に余裕ができ、駆動回路までの配線抵抗を低減することができる。よって、空間光変調素子の設計の自由度を向上させることができ、また、空間光変調素子の誤動作の低減を図ることができる。

30 【0239】また、本発明の空間光変調素子（請求項13）によれば、請求項1又は請求項3から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、基板が、シャッタが設けられた面の反対側の面に遮光層を備えることとしたため、迷光が半導体基板を透過し、スクリーン上の画像のコントラストや輝度を低下することを防止することができる。また、基板上に接地電位を供給する配線（いわゆるGNDライン）又は電源ラインを設ける必要をなくすことができるため、基板上のトランジスタや他の配線に余裕ができ、駆動回路までの配線抵抗を低減することができる。よって、空間光変調素子を設けた投影型ディスプレイの画質の向上及び誤動作の低減を図ることができる。

【0240】また、本発明の空間光変調素子（請求項14）によれば、請求項2から11のいずれかに記載の空間光変調素子において、透光性基板が、非透光性基板に接触する面上に透光性導電層を備えることにしたため、駆動電圧を高くすることなく、シャッタに働く静電引力を大きくすることができる。したがって、より低い駆動電圧でのシャッタ動作を実現できるため、空間光変調素子の小型化、応答速度の向上を図ることができる。

【0241】また、本発明の空間光変調素子（請求項15）によれば、請求項2から14のいずれかに記載の空間光変調素子において、透光性基板と非透光性基板の間に低抵抗層を設けることにしたため、低抵抗層を電極として透光性基板と非透光性基板とを陽極接合により接合することができ、非透光性基板上の回路に高電圧が印加されて回路が破壊されるということを防止することができる。したがって、空間光変調素子の製造上の歩留まりを向上させることができ。また、非透光性基板上に接地電位を供給する配線（いわゆるGNDライン）又は電源ラインを設ける必要がないため、非透光性基板上のトランジスタや他の配線に余裕ができ、駆動回路までの配線抵抗を低減することができる。したがって、空間光変調素子の機械的剛性の低下を防止し、設計自由度の向上及び誤動作の低減を図ることができると共に、空間光変調素子を用いて得られる画像の輝度・画質を向上することができる。

【0242】また、本発明の空間光変調素子（請求項16）によれば、請求項2から14のいずれかに記載の空間光変調素子において、透光性基板と非透光性基板の間に遮光層を設けることにしたため、非透光性基板上に接地電位を供給する配線（いわゆるGNDライン）又は電源ラインを設ける必要をなくすことができる。したがって、非透光性基板上のトランジスタや他の配線に余裕ができ、駆動回路までの配線抵抗を低減することができる。よって、空間光変調素子の機械的剛性を低下することなく、設計自由度の向上及び誤動作の低減を図ることができると共に、空間光変調素子を用いて得られる画像の輝度・画質・コントラストを向上させることができ。また、遮光層を電極として非透光性基板と透光性基板間の陽極接合を行うことができる。したがって、非透光性基板上の回路に高電圧を印加する必要がないため、回路が破壊されることはなく、製造上の歩留まりを向上することができる。更に、遮光層を接着層として非透光性基板と透光性基板間の接合をすることができる。この場合は高電圧を印加する必要がないため、更に作成上の歩留まりを向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図2】図1に示す空間光変調素子を構成するフラップ型シャッタの構成を示す平面図である。

【図3】図2に示すフラップ型シャッタの線A-A'における断面図であり、(a)はシャッタを閉じた状態、(b)はシャッタを開いた状態をそれぞれ示している。

【図4】図2に示すフラップ型シャッタの線B-B'における断面図である。

【図5】本発明の実施の形態1に係る空間光変調素子において、シャッタの閉状態での漏れ光量を説明するための説明図である。

【図6】従来の空間光変調素子において、シャッタの閉状態での漏れ光量を説明するための説明図である。

【図7】本発明の実施の形態1に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。

【図8】図7に示す空間光変調素子の平面図である。

【図9】図7に示す空間光変調素子を構成するシャッタの開閉状態を説明するための説明図であり、(a)はシャッタを閉じた状態、(b)はシャッタを開けた状態をそれぞれ示している。

【図10】本発明の実施の形態1に係る空間光変調素子の応用例を示す説明図である。

【図11】本発明の実施の形態1に係る空間光変調素子において、開口部に入射された光の様子を説明する説明図である。

【図12】本発明の実施の形態2に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。

【図13】本発明の実施の形態2に係る空間光変調素子の製造過程を説明するための説明図である。

【図14】本発明の実施の形態3に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図15】本発明の実施の形態3に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。

【図16】本発明の実施の形態3に係る空間光変調素子の第3実施例の構成を示す構成図である。

【図17】本発明の実施の形態3に係る空間光変調素子の第4実施例の構成を示す構成図である。

【図18】本発明の実施の形態4に係る空間光変調素子の構成を示す平面図である。

【図19】図19の線C-C'における断面図である。

【図20】図19の線D-D'における断面図である。

【図21】本発明の実施の形態5に係る空間光変調素子の構成を示す平面図である。

【図22】図21の線E-E'における断面図である。

【図23】図21の線F-F'における断面図である。

【図24】本発明の実施の形態6に係る空間光変調素子において、解決する課題を説明するための説明図である。

【図25】図24の線G-G'における断面図である。

【図26】図24の線H-H'における断面図である。

【図27】本発明の実施の形態6に係る空間光変調素子の構成を示す平面図である。

【図28】図27の線I-I'における断面図である。

【図29】図27の線J-J'における断面図である。

【図30】本発明の実施の形態6に係る空間光変調素子をアレイ状に並べた場合の様子を説明する説明図である。

【図31】単結晶シリコン基板の(100)面を用いた空間光変調素子をアレイ状に並べた場合の様子を示す説明図である。

【図32】本発明の実施の形態7に係る空間光変調素子において、マイクロレンズをハニカム状に並べた様子を説明する説明図である。

【図33】単結晶シリコン基板の(100)面を使用したシャッタをハニカム状に並べた様子を説明するための説明図である。

【図34】本発明の実施の形態7に係る空間光変調素子において、単結晶シリコン基板の(110)面を使用したシャッタをハニカム状に並べた様子を説明するための説明図である。

【図35】本発明の実施の形態7に係る空間光変調素子をフルカラー表示が可能な投写型ディスプレイに適用する場合の構成を説明するための説明図である。

【図36】本発明の実施の形態8に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図37】本発明の実施の形態8に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。

【図38】本発明の実施の形態8に係る空間光変調素子の第3実施例の構成を示す構成図である。

【図39】本発明の実施の形態9に係る空間光変調素子において、解決する課題を説明するための説明図である。

【図40】本発明の実施の形態9に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図41】本発明の実施の形態9に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。

【図42】本発明の実施の形態9に係る空間光変調素子の第3実施例の構成を示す構成図である。

【図43】本発明の実施の形態10に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図44】図43に示す空間光変調素子の動作タイミングを示すタイミングチャートである。

【図45】図43に示す空間光変調素子の動作を説明するための説明図である。

【図46】本発明の実施の形態10に係る空間光変調素子において、第2実施例の空間光変調素子の動作タイミングを示すタイミングチャートである。

【図47】本発明の実施の形態10に係る空間光変調素子において、第2実施例の空間光変調素子の動作を説明するための説明図である。

【図48】本発明の実施の形態10に係る空間光変調素子において、第3実施例の空間光変調素子の動作タイミングを示すタイミングチャートである。

【図49】本発明の実施の形態10に係る空間光変調素子において、第3実施例の空間光変調素子の動作を説明するための説明図である。

【図50】本発明の実施の形態11に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。

【図51】本発明の実施の形態12に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。

【図52】本発明の実施の形態12に係る空間光変調素子において、駆動回路の概略構成を示す構成図である。

10 【図53】本発明の実施の形態13に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図54】本発明の実施の形態13に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。

【図55】本発明の実施の形態14に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図56】本発明の実施の形態14に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。

【図57】本発明の実施の形態15に係る空間光変調素子の構成を示す構成図である。

20 【図58】図57に示す空間光変調素子を陽極接合を用いて製造する際、電圧の印加方法を説明するための説明図である。

【図59】本発明の実施の形態16に係る空間光変調素子の第1実施例の構成を示す構成図である。

【図60】本発明の実施の形態16に係る空間光変調素子の第2実施例の構成を示す構成図である。

【図61】従来の空間光変調素子の構成を説明するための説明図である。

30 【図62】従来の空間光変調素子の構成を説明するための説明図である。

【図63】従来の空間光変調素子の構成を説明するための説明図である。

【図64】投射型ディスプレイの構成を説明するための説明図である。

【図65】投射型ディスプレイの構成を説明するための説明図である。

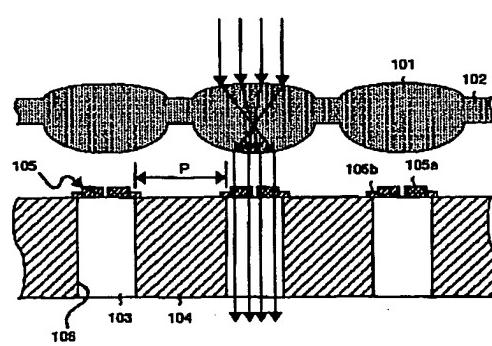
【符号の説明】

101	マイクロレンズ
102	マイクロレンズ基板
103	貫通孔
104	基板
105	シャッタ
105a	遮光板
105b	トーションバー
105c	ビーム
106	壁
107	固定電極
108	アンカー
109	配線
50 110	電源

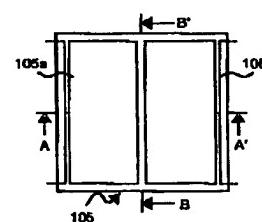
- 201 ガラス基板
 202 シリコン基板
 203 p型半導体基板
 204 n型半導体層
 205 回路部
 206 酸化膜（又は窒化膜）
 207 金属層
 208 補強板
 209 ガラス基板
 301, 401, 601, 602, 603, 604 壁
 801 ソルダーガラス
 802 リードフレーム
 803 ボンディングワイヤ
 804 封止領域（第1封止領域）
 805 シール兼スペーサ
 806 封止材
 901 窓材
 902 第2封止領域
 903 ガラス台座
 904 ソルダーガラス
 1001 透明導電膜
 1101 駆動回路
 1102 電極
 1201 低抵抗層
 1202 バイア電極
 1203 n型基板
 1206 p-mosトランジスタ

- 1207 p-well層
 1208 n-mosトランジスタ
 1209, 1210 ゲート電極
 1211 CMOSゲート入力端子
 1301, 1601 遮光層
 1302 遮光層兼低抵抗層
 1401 透明導電膜
 1402, 1602 遮光層兼低抵抗層
 1501 低抵抗層
 10 1502 接合用電極
 1701 マイクロシャッタ
 1702 移動電極
 1703 ピーム
 1704 基板
 1705, 1706, 1707 電極
 1708 開口
 1708a 壁
 1709 フィルタ
 1710 光源
 20 1711 ダイクロイックミラー
 1712 液晶パネル
 1713 液晶シャッタ
 1714 マイクロレンズ
 1715 フレネルレンズ
 1716 投射レンズ
 1717 スクリーン
 1718 ガラス基板

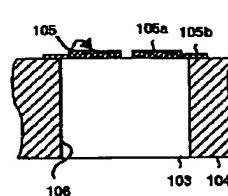
【図1】



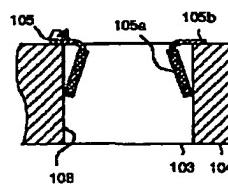
【図2】



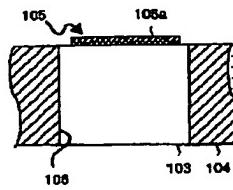
【図3】



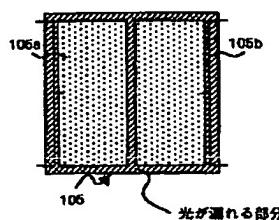
(b)



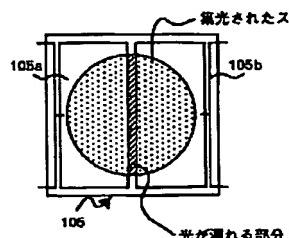
【図4】



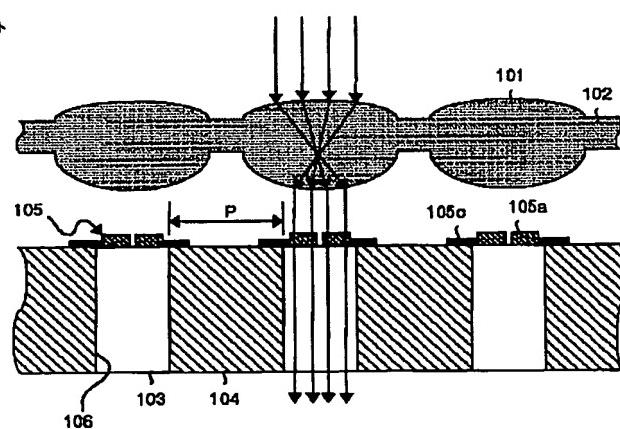
【図6】



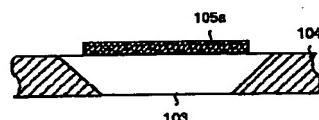
【図5】



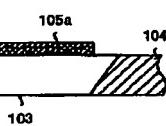
【図7】



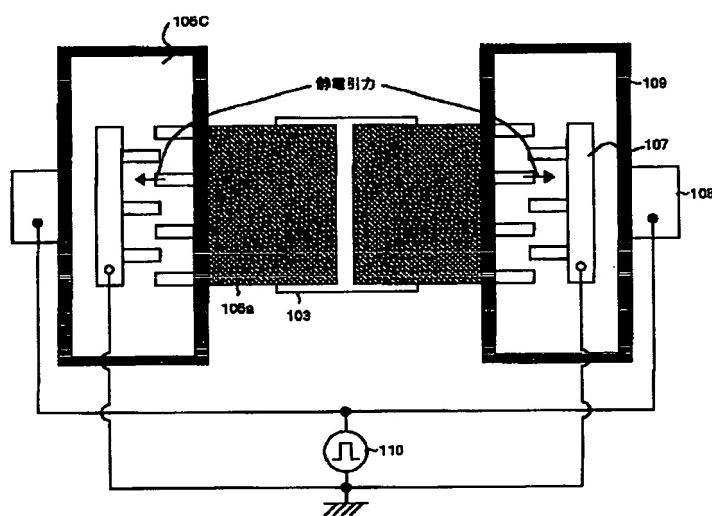
【図20】



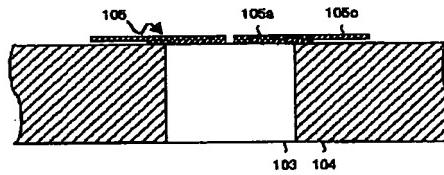
【図23】



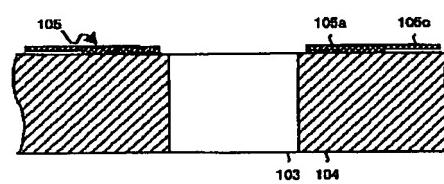
【図8】



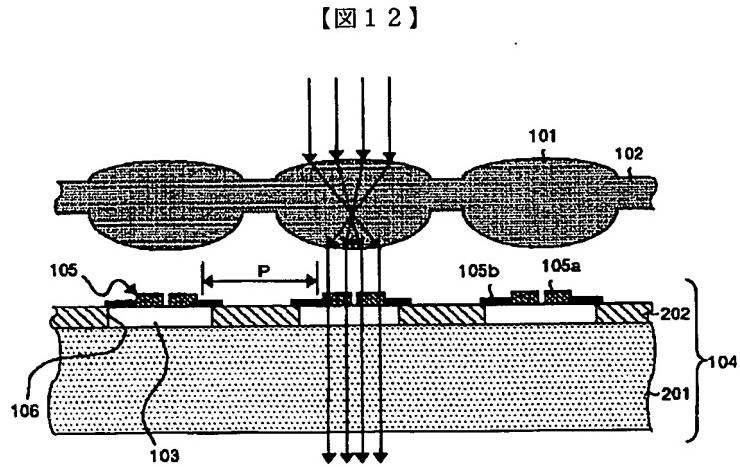
(a)



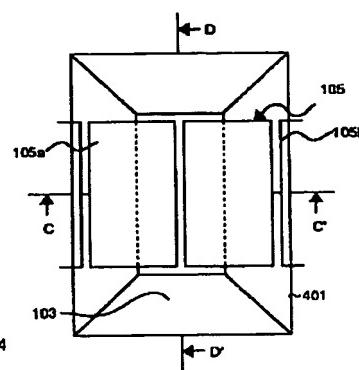
(b)



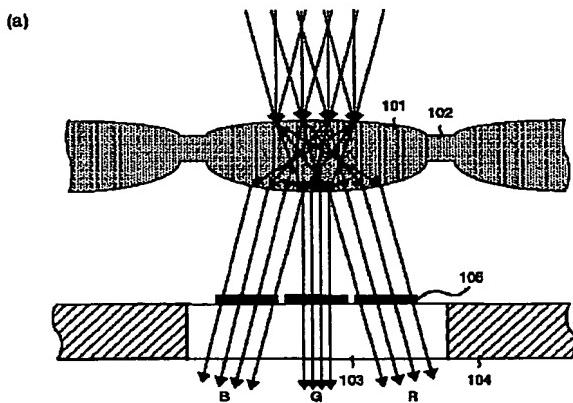
【図18】



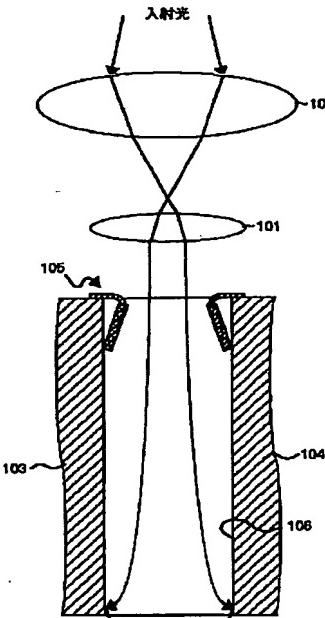
【図12】



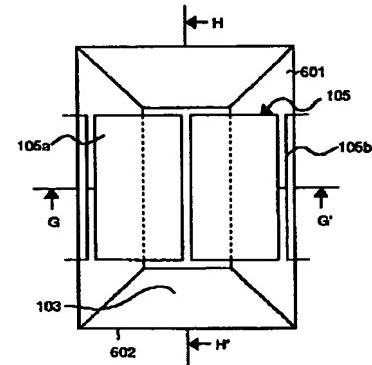
【図10】



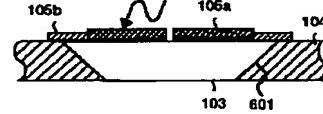
【図11】



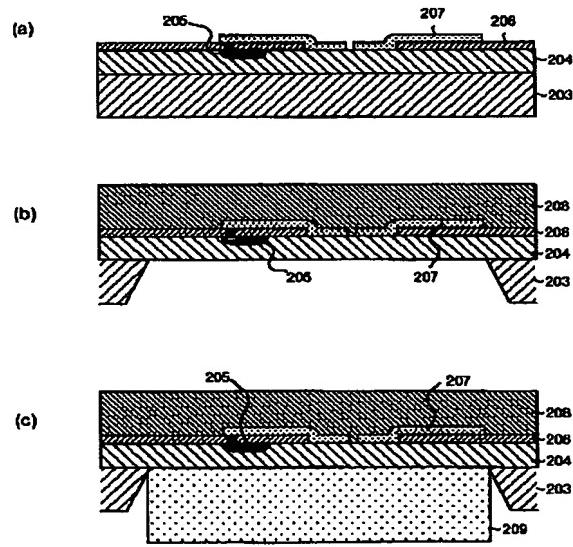
【図24】



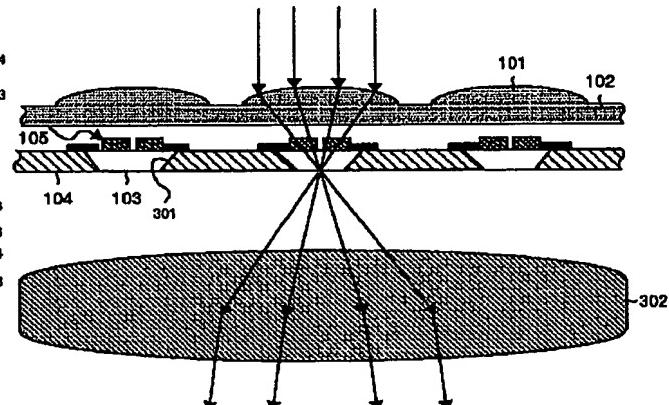
【図25】



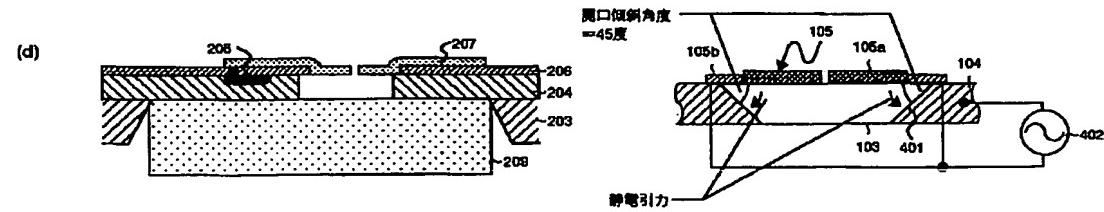
【図13】



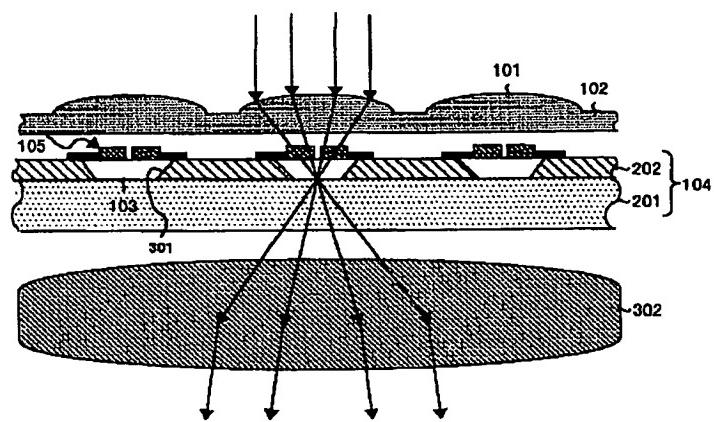
【図14】



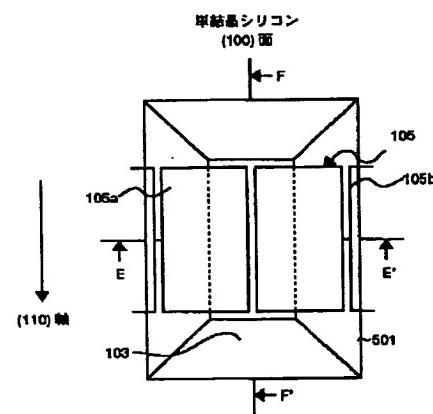
【図19】



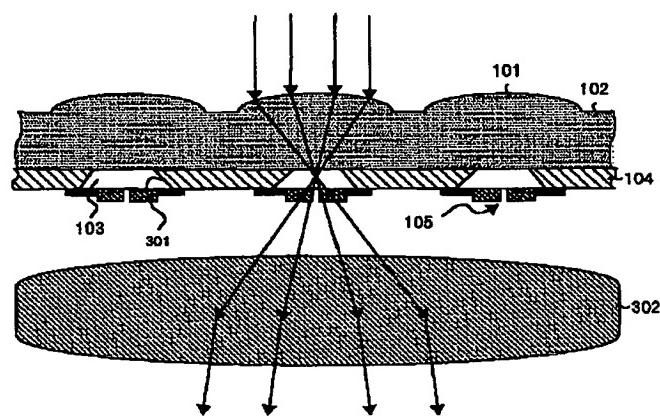
【図15】



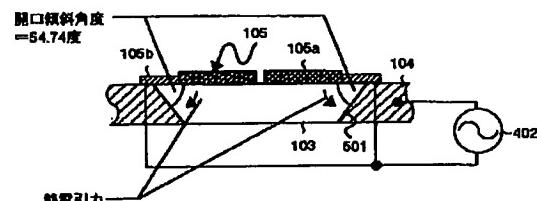
【図21】



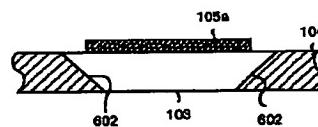
【図16】



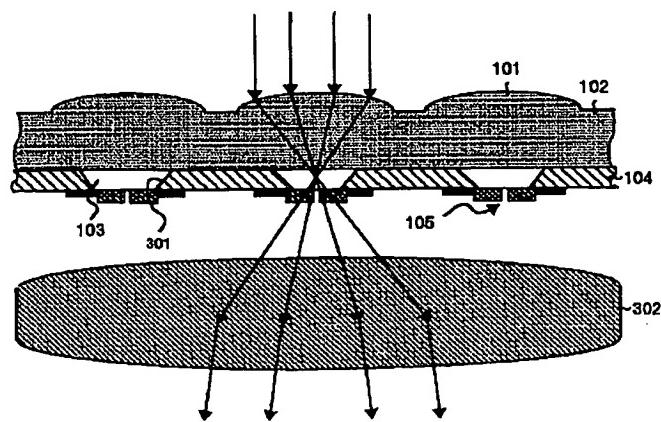
【図22】



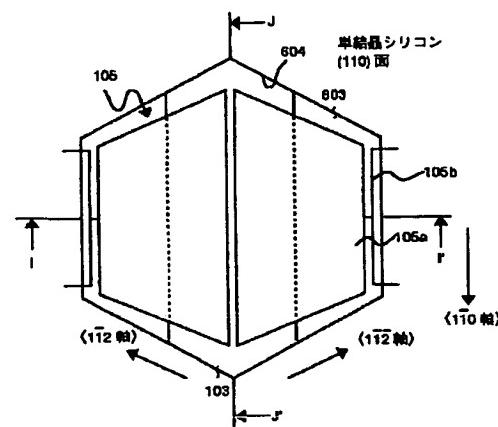
【図26】



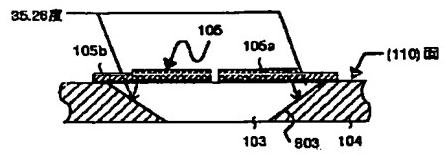
【図17】



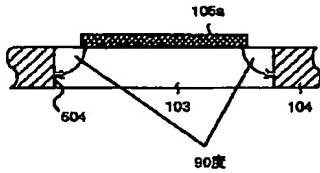
【図27】



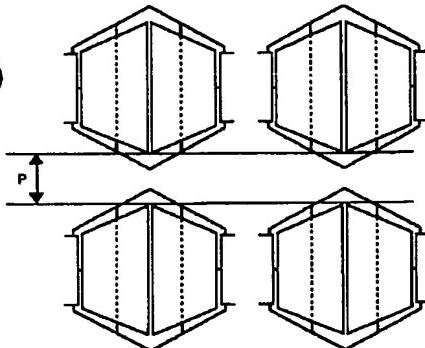
【図28】



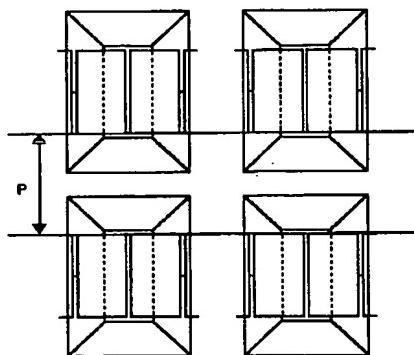
【図29】



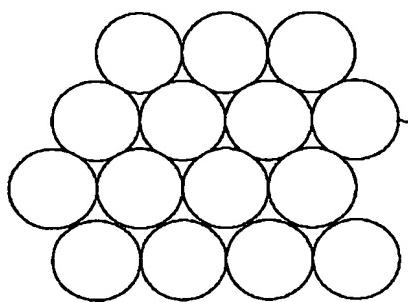
【図30】



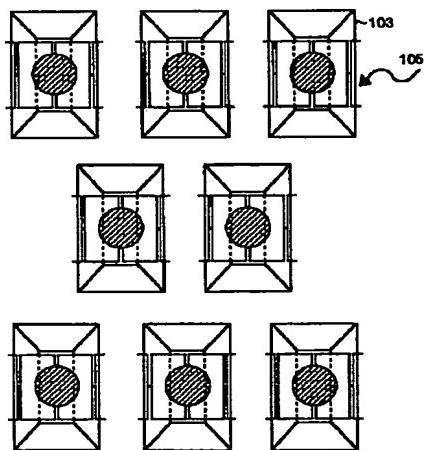
【図31】



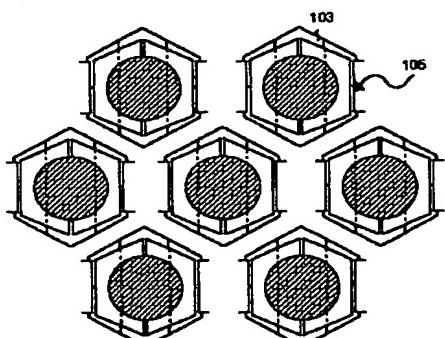
【図32】



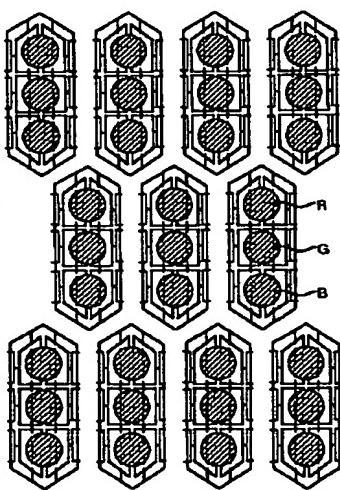
【図33】



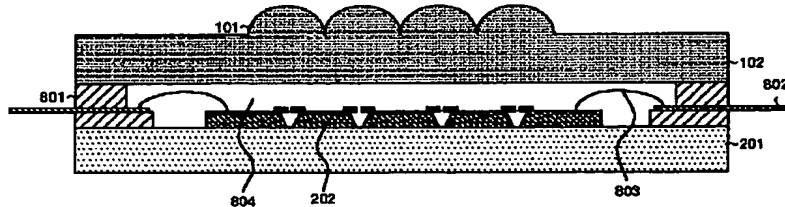
【図34】



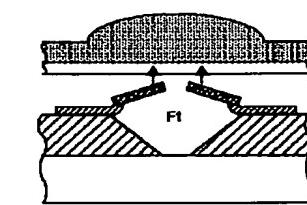
【図35】



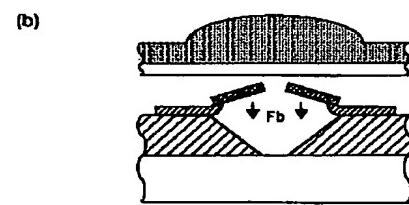
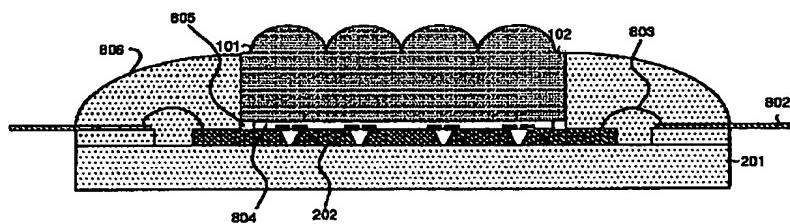
【図36】



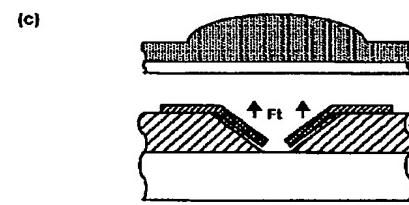
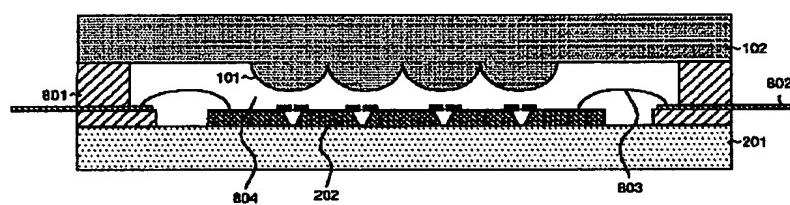
【図45】



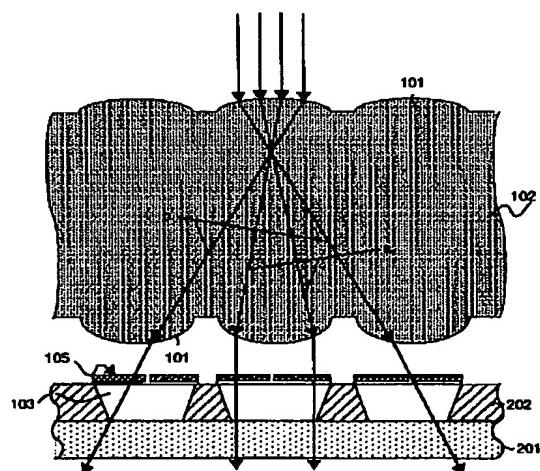
【図37】



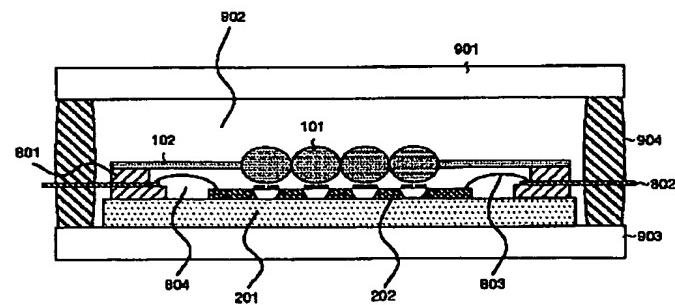
【図38】



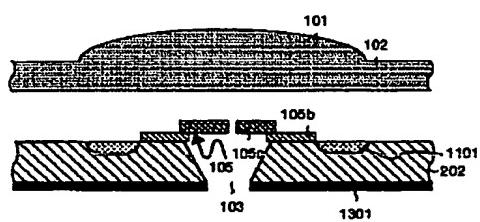
【図39】



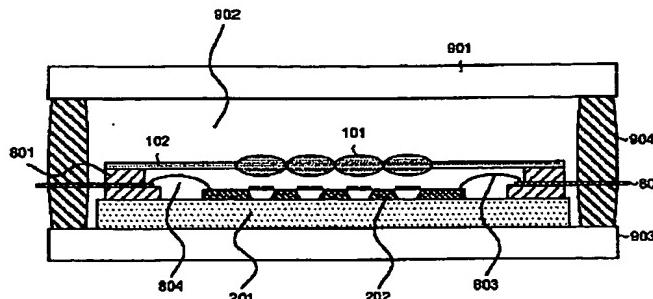
【図40】



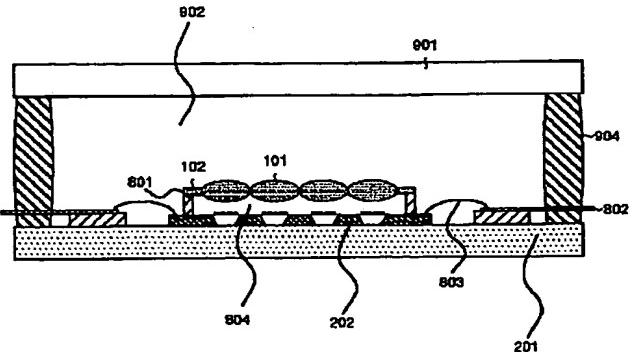
【図53】



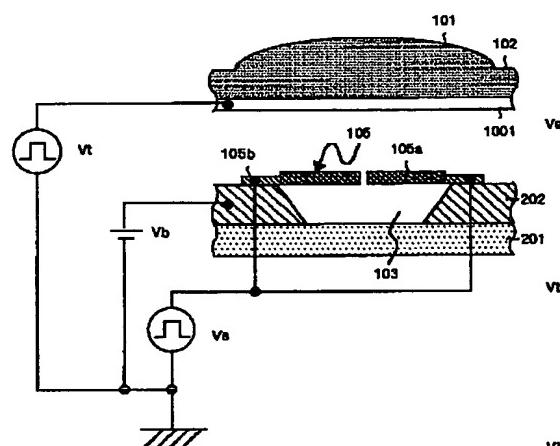
【図41】



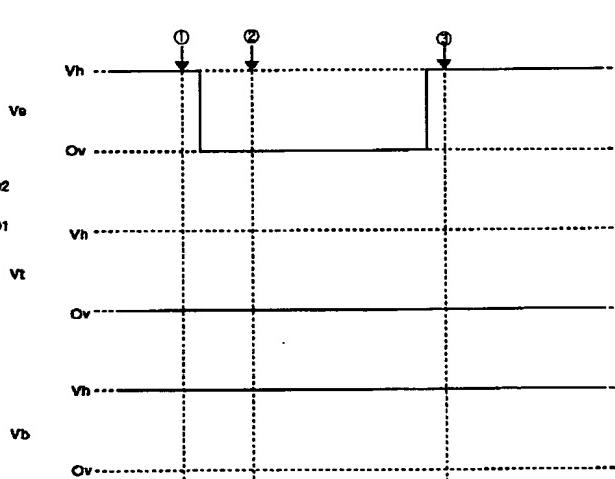
【図42】



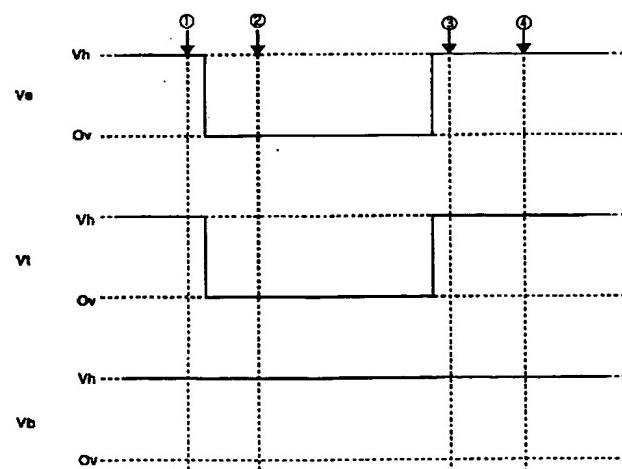
【図43】



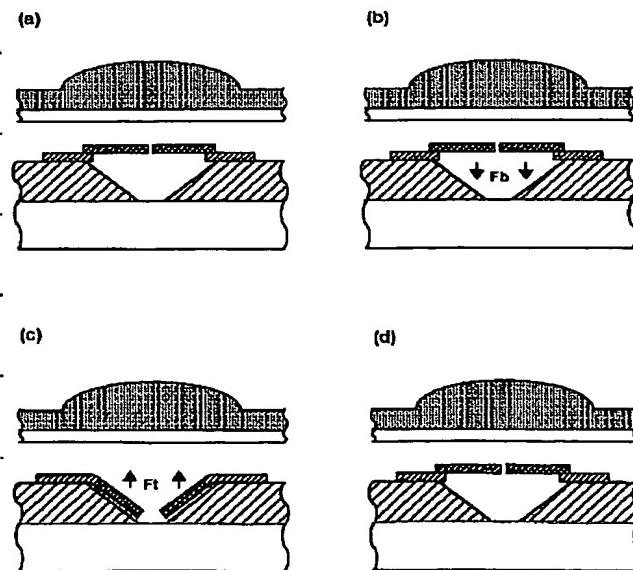
【図44】



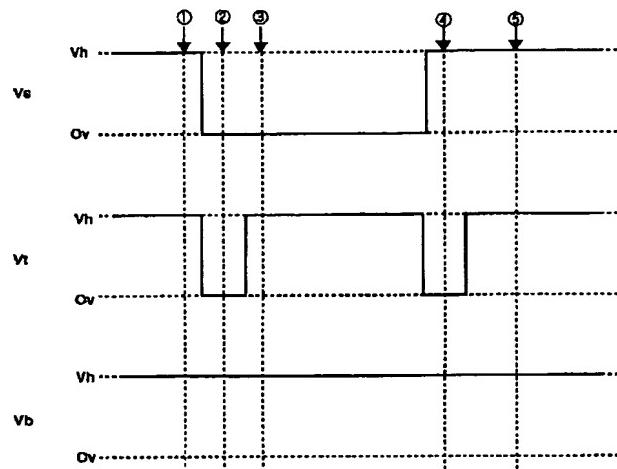
【図46】



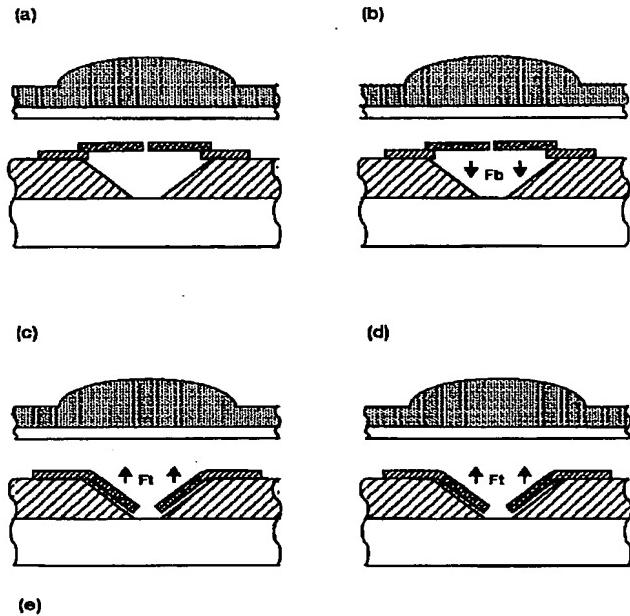
【図47】



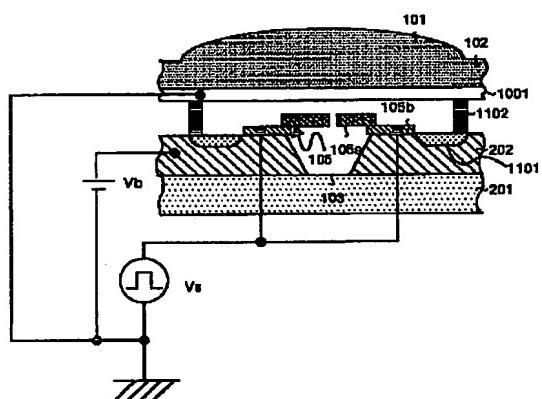
【図48】



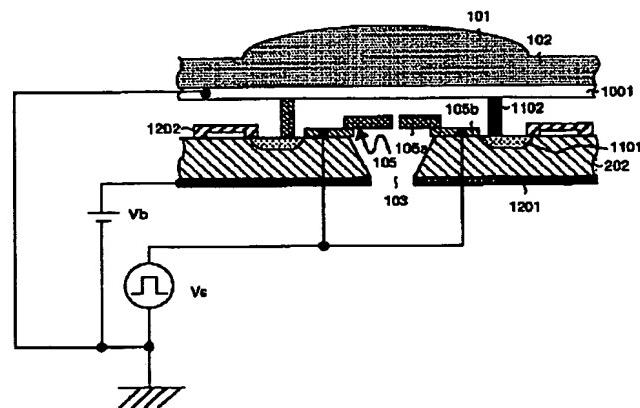
【図49】



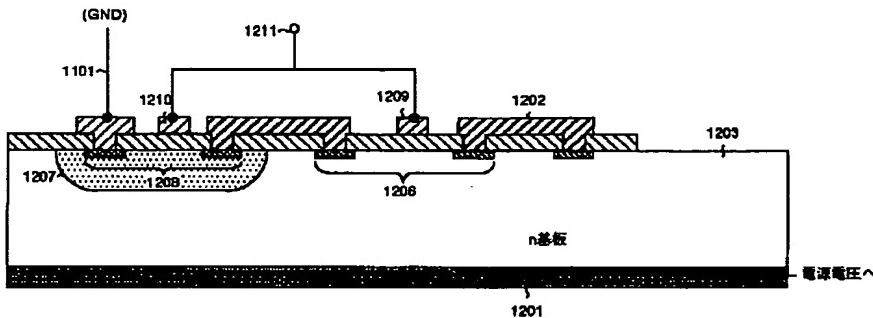
【図50】



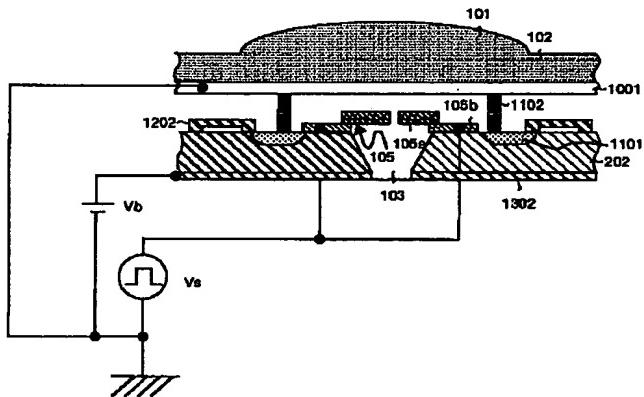
【図51】



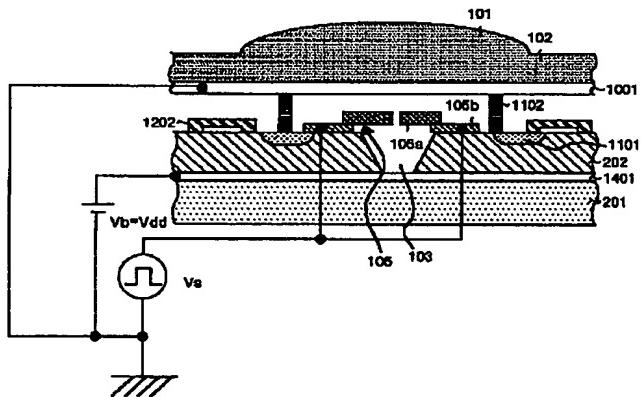
【図52】



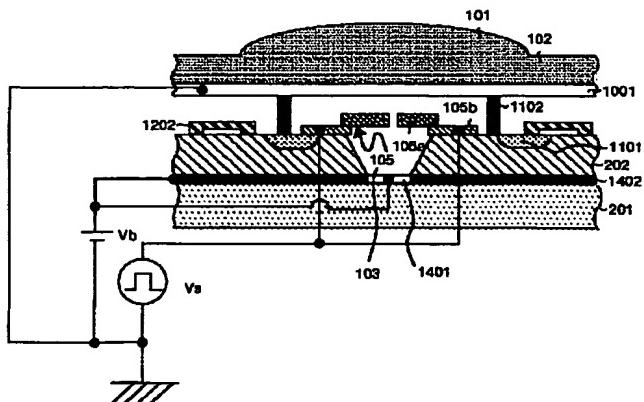
【図54】



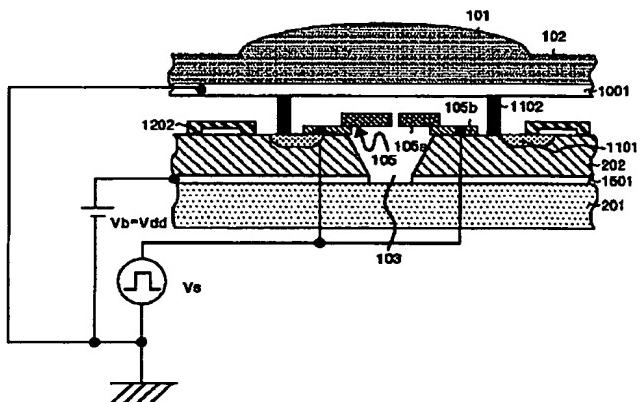
【図55】



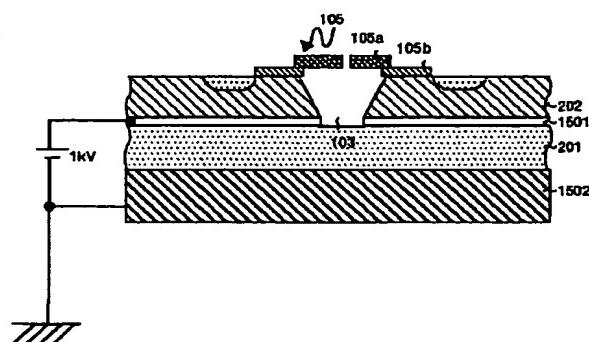
【図56】



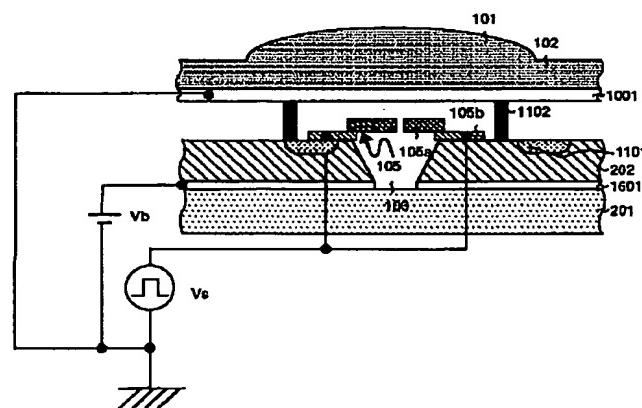
【図57】



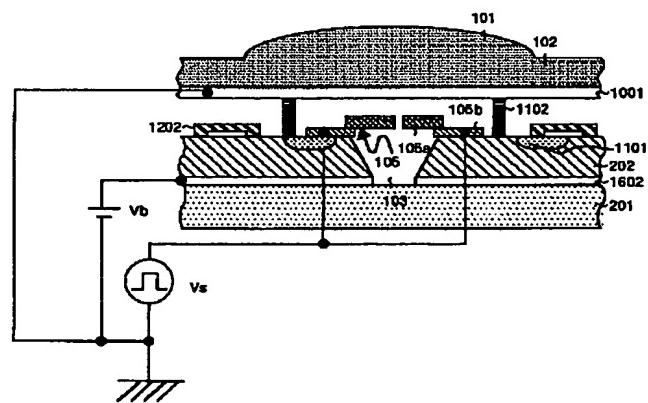
【図58】



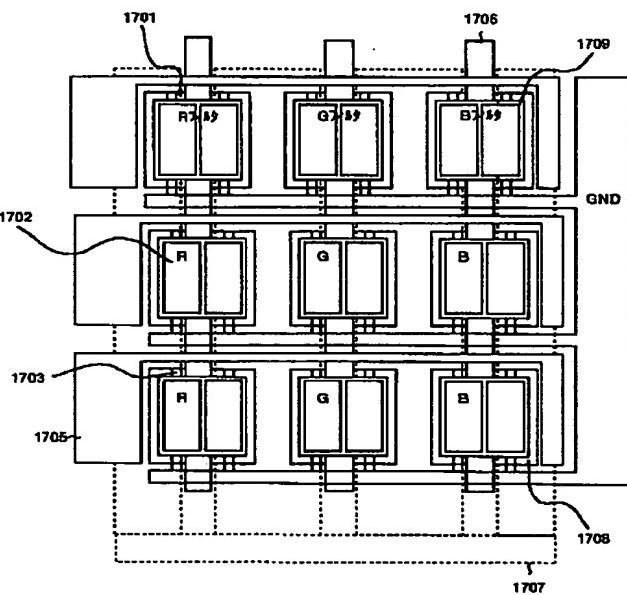
【図59】



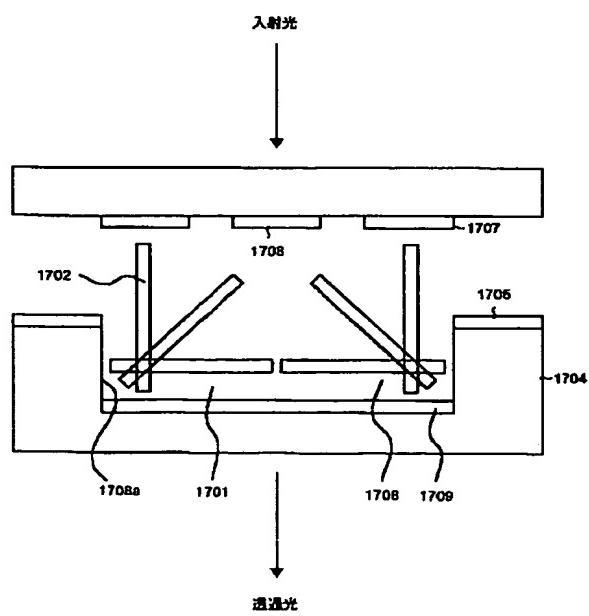
【図60】



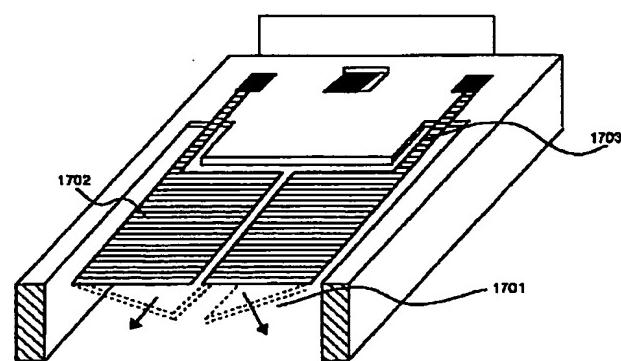
【図61】



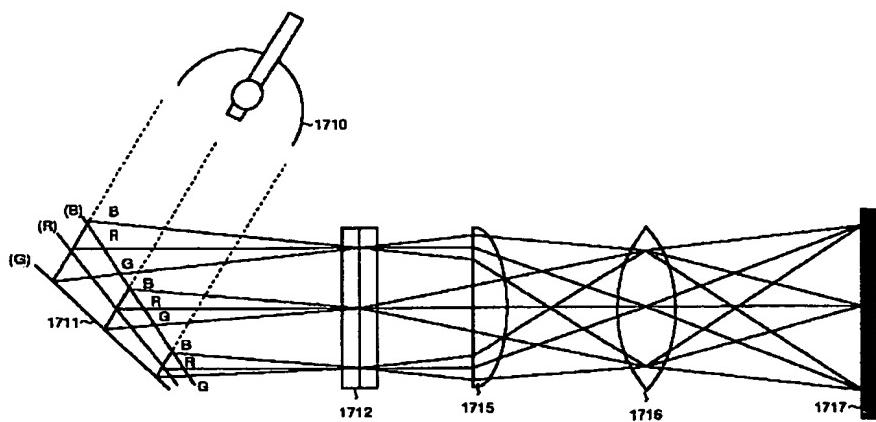
【図62】



【図63】



【図64】



【図65】

